



MICROFICHE N°

09402

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F 1

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DES SOLS

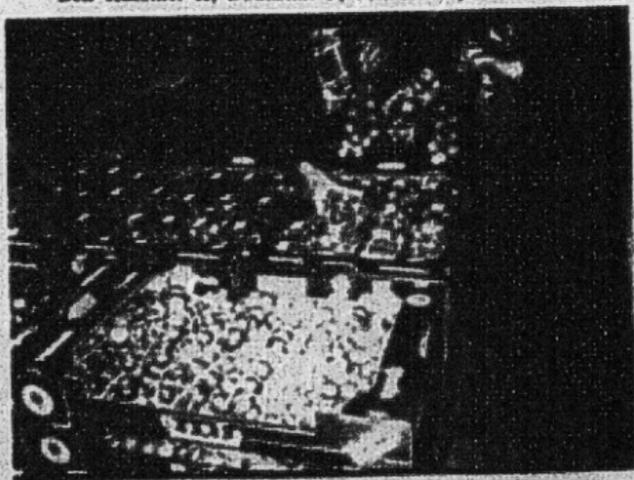


**LES CULTURES SOUS SERRES IRRIGUEES
PAR LES EAUX GEOTHERMALES
DANS LE SUD TUNISIEN
(Tozeur, Kébili e Gabès)**

**DOCUMENT METHODOLOGIQUE
DES DONNEES DE BASE (eau et sol)**

Par

Ben Hassine. H, Bouksila. F, Mimet. A, Zidi. Ch



Juin 1996

Ministère de l'Agriculture
Direction des Sols

CNRS-0.12

**LES CULTURES SOUS SERRES IRRIGUEES
PAR LES EAUX GEOTHERMALES
DANS LE SUD TUNISIEN
(Tozeur, Kébili et Gabès)**

**DOCUMENT METHODOLOGIQUE
DES DONNEES DE BASE (eau et sol)**

Par

Ben Hassine. H, Bouksila. F, Mîmet. A, Zidi. Ch

avec le soutien technique des CRDA Gabès, Kébili et Tozeur

يتناول هذا التقرير دراسة إشكاليات أوضاع الأتربة المستغلة بالزراعات الممسية والمروية بالمياه السخنة في ولايات الجنوب قاسم، قبلي ونور. وهي تدل في إطار دراسات الأراضي المنثرة بالملوحة والتغدق لوضع دليل مهمل يغطي كل المعطيات (الزراعية والزراعية). وقد شهدت في السنين الأخيرة (العشرية الأخيرة) تطورا من ناحية المساحات إذ فاقت 70 هكتار باستغلال مكثف يعتمد على إنتاج الباكورات : حضروات، قرعيات بطرق تقليدية وكذلك بطرق أخرى معصرية ذات إستثمارات كبيرة (إستعمال أعماق زراعية وأسمدة وأجهزة ري حديثة، وتداول زراعي وإستعمال العسوب في إدارة السيوت المكيفة، كذلك الأتربة المستوردة من أماكن أخرى...) ومن ناحية الموارد المائية العوفية العارة فإنها توجد بنسبة 70% بالولايات الثلاثة يمكن بواسطتها إحداث مناطق سقوية تغطي 370 هكتار، وسيتم إحداث 300 هكتار جديدة من السيوت الممسية من إنتاج 48 ألف طن من الباكورات في أفق سنة 2000 منها 30 ألف طن قبلية للتصدير.

وبالرغم من تطافر جهود المستثمرين والتشجيعات المادية التي أولتها الدولة في الفترة الأخيرة فإن بعض النقص والعوائق أصابت الإنتاج (كمنا وكيفا) ومن بينها ما يهم التربة إذ تمنح الأراضي إلى منهجيات نوعية لإستصلاحها وإدارتها للمحافظة على إنتاجيتها على المدى الطويل، والطرق التي يروج إتباعها من أجل إستصلاحها بصورة ناجعة (إزالة الأملاح الذائبة في المنطقة البذرية عن طريق الغسل).

ويركز هذا التقرير على ثلاث فصول مهمة منها الإستنتاجات العلمية الأخيرة اعتمادا على الأعمال السابقة من طرف بعض الفنين والباحثين تم في مرحلة ثانية دراسة معينة للأوضاع المتعلقة بالنتائج المنتجة من فريق إدارة التربة والأقسام الجهوية للمندوبيات. وفي مرحلة ثالثة وضع المهجبة المقترحة للمنطقة في المراقبة المستمرة والمتابعة الميدانية الدقمة بالتحليل العمري (مياه وتربة). وقد أولينا لهذا الفصل كل العناية والإهتمام في عدم الإفراط في مياه الري المفضية وتجنب مشكلات الصرف لسرعة نفاذ المياه بسبب عدم الضباب في بناء التربة إذ يغلب عليها التسيج الرملى أو بسبب قلة إندثار الأرض وهذا ينتج عنه صعوبة في التهوية وسرعة تجلج التربة وبذلك إصابة الماصيل بالأمراض ونقص في الإنتاج العام وتدهور الأتربة عموما نتيجة تفاوت خصائص التربة من مكان إلى مكان ومستوى القدرة على إدارة الضيعة والمستلزمات الاقتصادية تؤدي حتما إلى نشوء اختلافات في الطرق المستخدمة.

ويمكن التوسع في زراعة مساحات جديدة في هذه المناطق العارة ذات المياه العوفية العارة إذا اعتبرت لها الأماكن المسنة وتوفرت لها أساليب ري جيدة مع العذر من ظهور الملوحة والتغدق وعدم الإصابة بها وكذلك مراقبة العشرات والأمراض الأخرى.

SOMMAIRE

| | Page |
|--|------|
| Introduction | 2 |
| 1. Etat des connaissances sur la géothermie agricole en Tunisie | 3 |
| 1.1. Choix des sols | 3 |
| 1.2. Contrôle et maîtrise de la salinité des sols | 3 |
| 1.1.1. Qualité des eaux géothermales | 3 |
| 1.1.2. Maîtrise de la salinité des sols | 4 |
| 1.3. Ferti-irrigation | 6 |
| 1.4. Production, rendement et exportation | 7 |
| 2. Analyse de la situation actuelle dans le Sud tunisien | 9 |
| 2.1. Les données de base..... | 9 |
| 2.1.1. Les données climatiques | 9 |
| 2.1.2. Les eaux d'irrigation | 9 |
| 2.1.3. Reconnaissance pédologique des sols irrigués | 11 |
| 2.1.4. Occupation des sols et l'évolution des spéculations | 12 |
| 2.2. Typologie des périmètres: Essai de classification | 12 |
| 2.2.1. Classification en fonction des facteurs économiques et infrastructurels | 12 |
| 2.2.2. Classification en fonction du milieu physique | 13 |
| 2.2.3. Les difficultés et les contraintes de développement du secteur de la géothermie | 23 |
| 3. Les approches et les stratégies de développement du secteur de la géothermie: Critères de choix et paramètres pris en compte | |
| 3.1. Les propositions d'amélioration de l'état actuel | 25 |
| 3.1.1. L'environnement physique | 25 |
| 3.1.2. Surveillance périodique et régulière | 26 |
| 3.2. Les objectifs à atteindre à long terme | 26 |
| 3.3. Actions générales à entreprendre | 27 |
| 3.3.1. Etude du milieu d'exécution du projet | 27 |
| 3.3.2. Etape de l'installation du projet | 27 |
| 3.3.3. Etape de suivi et de surveillance | 29 |
| Conclusion générale | 32 |

Introduction

Suite à l'apparition de difficultés et de problèmes d'ordre technique influençant, d'une façon négative, la production dans le domaine des cultures protégées, irriguées par les eaux géothermales, une décision ministérielle a été prise pour venir en aide à ce secteur et contribuer à son encadrement dans un objectif général du maintien de la production et de son éventuelle amélioration. Ce secteur destiné en partie à l'exportation et ayant absorbé des investissements importants mérite, en effet, une attention particulière et un suivi régulier permettant sa sauvegarde et la pérennité de sa production.

C'est dans ce cadre que la Direction des sols, a entrepris une enquête et un diagnostic approfondis du milieu naturel dans lequel a été implantée cette activité, en l'occurrence les périphéries de Chott El Jerid et de Chott El Fejej où les eaux géothermales ont été captées par forages et orientées vers la production dans ce secteur. Trois gouvernorats (Tozeur, Kébili et Gabès) où cette activité est très pratiquée et notamment le gouvernorat de Gabès, ont été visités et les sols des différents sites de production, ont été caractérisés par échantillonnage et analyse au laboratoire. Les observations de terrain, ont été aussi nombreuses et ont permis d'identifier les problèmes que connaît ce secteur, mais le sol garde toujours des propriétés non visibles directement et qui ont été déterminées par le recours aux analyses. 177 échantillons ont été prélevés dans les différents projets visités. L'interprétation de leurs résultats d'analyses a été d'un grand apport pour l'identification précise des problèmes et l'élaboration des recommandations. Par ailleurs, des discussions et des entretiens ont été effectués avec les services techniques des CRDA et aussi avec les producteurs sur leurs parcelles.

L'actuelle étude se donne donc l'objectif d'établir un document méthodologique pour les utilisateurs des eaux chaudes en cultures protégées et les promoteurs ayant investi dans ce domaine, afin qu'ils s'assurent de la continuité de la production en intervenant conformément aux conclusions et recommandations obtenues après ce premier travail intégré de diagnostic de terrain, d'analyses de laboratoire et de consultation de références bibliographiques pendant quatre mois.

Dès le début, il a été jugé nécessaire d'entamer l'étude par une revue de la bibliographie et les publications qui ont été diffusées sur ce secteur. Le projet PUJGA¹ qui a mis en valeur ces eaux, étant le précurseur de l'avènement de la production organisée et productive dans ce domaine a, en effet, réalisé beaucoup de rapports dont une synthèse figure dans le premier chapitre de ce document.

¹ Projet d'Utilisation de la Géothermie en Agriculture.

Introduction

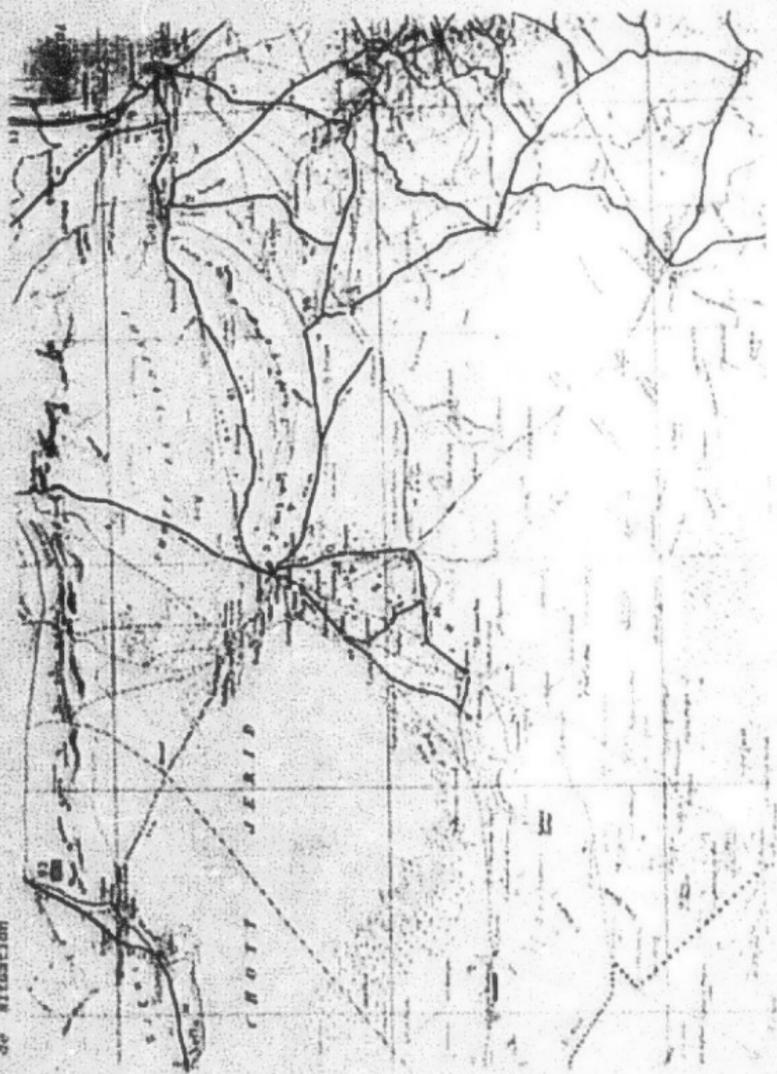
Suite à l'apparition de difficultés et de problèmes d'ordre technique influençant, d'une façon négative, la production dans le domaine des cultures protégées, irriguées par les eaux géothermales, une décision ministérielle a été prise pour venir en aide à ce secteur et contribuer à son encadrement dans un objectif général du maintien de la production et de son éventuelle amélioration. Ce secteur destiné en partie à l'exportation et ayant absorbé des investissements importants mérite, en effet, une attention particulière et un suivi régulier permettant sa sauvegarde et la pérennité de sa production.

C'est dans ce cadre que la Direction des sols, a entrepris une enquête et un diagnostic approfondis du milieu naturel dans lequel a été implantée cette activité, en l'occurrence les périphéries de Chott El Jerid et de Chott El Fejej où les eaux géothermales ont été captées par forages et orientées vers la production dans ce secteur. Trois gouvernorats (Tozeur, Kébili et Gabès) où cette activité est très pratiquée et notamment le gouvernorat de Gabès, ont été visités et les sols des différents sites de production, ont été caractérisés par échantillonnage et analyse au laboratoire. Les observations de terrain, ont été aussi nombreuses et ont permis d'identifier les problèmes que connaît ce secteur, mais le sol garde toujours des propriétés non visibles directement et qui ont été déterminées par le recours aux analyses. 177 échantillons ont été prélevés dans les différents projets visités. L'interprétation de leurs résultats d'analyses a été d'un grand apport pour l'identification précise des problèmes et l'élaboration des recommandations. Par ailleurs, des discussions et des entretiens ont été effectués avec les services techniques des CRDA et aussi avec les producteurs sur leurs parcelles.

L'actuelle étude se donne donc l'objectif d'établir un document méthodologique pour les utilisateurs des eaux chaudes en cultures protégées et les promoteurs ayant investi dans ce domaine, afin qu'ils s'assurent de la continuité de la production en intervenant conformément aux conclusions et recommandations obtenues après ce premier travail intégré de diagnostic de terrain, d'analyses de laboratoire et de consultation de références bibliographiques pendant quatre mois.

Dès le début, il a été jugé nécessaire d'entamer l'étude par une revue de la bibliographie et les publications qui ont été diffusées sur ce secteur. Le projet PUJA¹ qui a mis en valeur ces eaux, étant le précurseur de l'avènement de la production organisée et productive dans ce domaine a, en effet, réalisé beaucoup de rapports dont une synthèse figure dans le premier chapitre de ce document.

Carte de situation



1. ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA GEOTHERMIE AGRICOLE EN TUNISIE

L'utilisation des eaux géothermales en Tunisie a démarré à partir de l'année 1985, par des travaux de recherches et d'expérimentations menés dans le cadre d'un projet de coopération tuniso-belge (PUGA) avec l'assistance du PNUD. L'objectif de ce projet était de produire des cultures de primeurs, de qualité, destinées à l'exportation, tout en valorisant le potentiel hydraulique et énergétique disponible. Les premiers travaux de recherche dans ce domaine sont réalisés sur une superficie de 1,3 hectare, situés à Limaguess du gouvernorat de Kébili. Actuellement (campagne 1995-96), la superficie totale des périmètres irrigués par ces eaux chaudes a atteint 74 ha dont 71 ha se situant dans le Sud, plus précisément dans les gouvernorats de Gabès, Kébili et Tozeur (Figure 1,2 et 3). Les travaux de recherche et de suivi effectués par l'équipe du projet PUGA, ont permis l'élaboration et la diffusion de plusieurs notes détaillées sur l'aménagement et l'installation de l'abri-serre, la maintenance des équipements, la nature et la conduite des différentes cultures, le contrôle et le suivi des paramètres de production, etc...

Dans ce qui suit, l'attention sera focalisée uniquement sur les données et les résultats des travaux de recherches relatifs aux thèmes suivants :

- Choix des sols.
- Contrôle et maîtrise de la salinité des sols.
- Ferti-irrigation.
- Production, rendement et exportation.

1.1: Choix des sols.

Les sols aptes à l'irrigation avec les eaux géothermales doivent subir des analyses physico-chimiques et répondre aux critères suivants (Tableau 1):

Tableau 1: Propriétés physico-chimiques des sols et des substrats aptes à l'irrigation par les eaux géothermales (Crillaso,wri)

| Paramètres* | Caractéristiques | Recommandations |
|-------------------------------|---|----------------------------|
| Granulométrie | texture grossière (sableuse à | amendement sableux si la |
| pH (eau) | 6 < pH < 8 | chauffage si pH < 6 |
| Calcaire actif | inférieur à 7 % | éviter un taux > 15 % |
| Gypse | - | - |
| Capacité d'échange cationique | CEC ≤ 50 à 60 me/kg | éviter des CEC > 120 me/kg |
| Matière organique (%) | 3 % < Mo ≤ 6 % | - |
| Salinité des sols CE (mS/cm) | sol irrigué et cultivé: CE < 8 sol non cultivé: CE < 4 | possibilité de drainage |
| Humidité et réserve utile | - | - |
| Perméabilité des sols | - | - |

* L'épaisseur de l'horizon n'est pas indiquée par l'auteur.

1.2. Contrôle et maîtrise de la salinité des sols

1.2.1: Qualité des eaux géothermales

Les eaux géothermales se caractérisent par une température d'environ 70 °C. Le chauffage des serres par ces eaux doit permettre de réduire leurs températures, avant leur

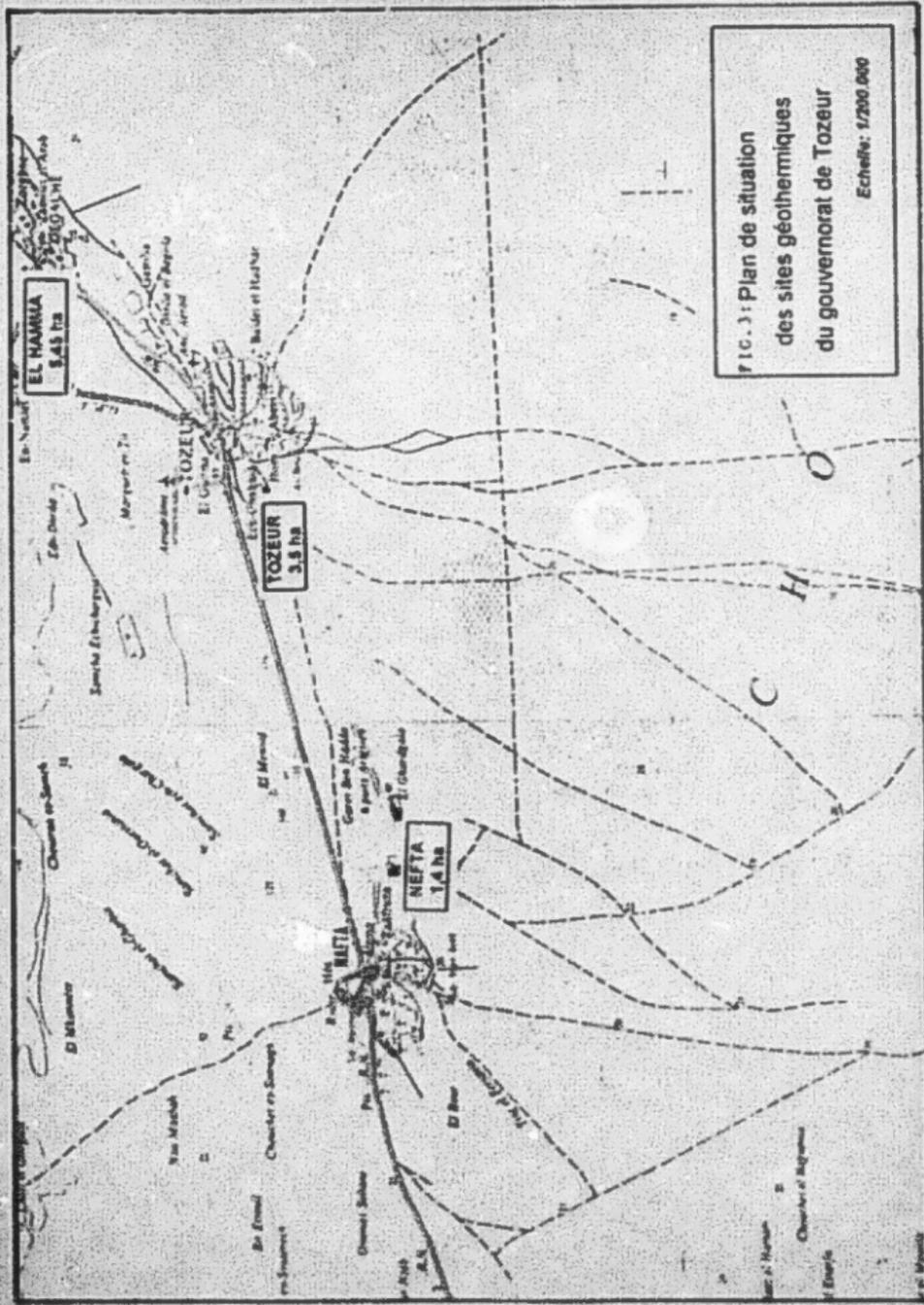
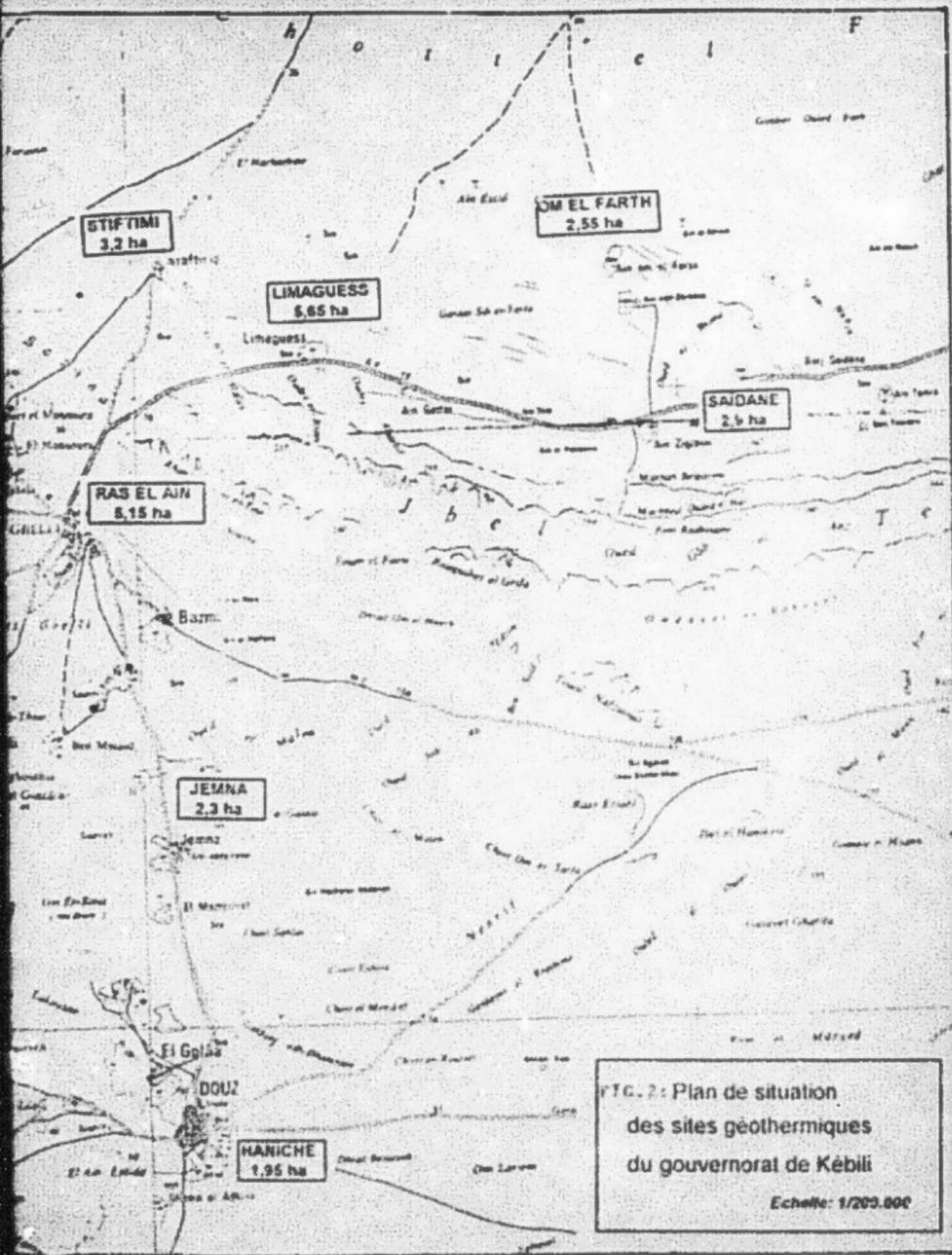
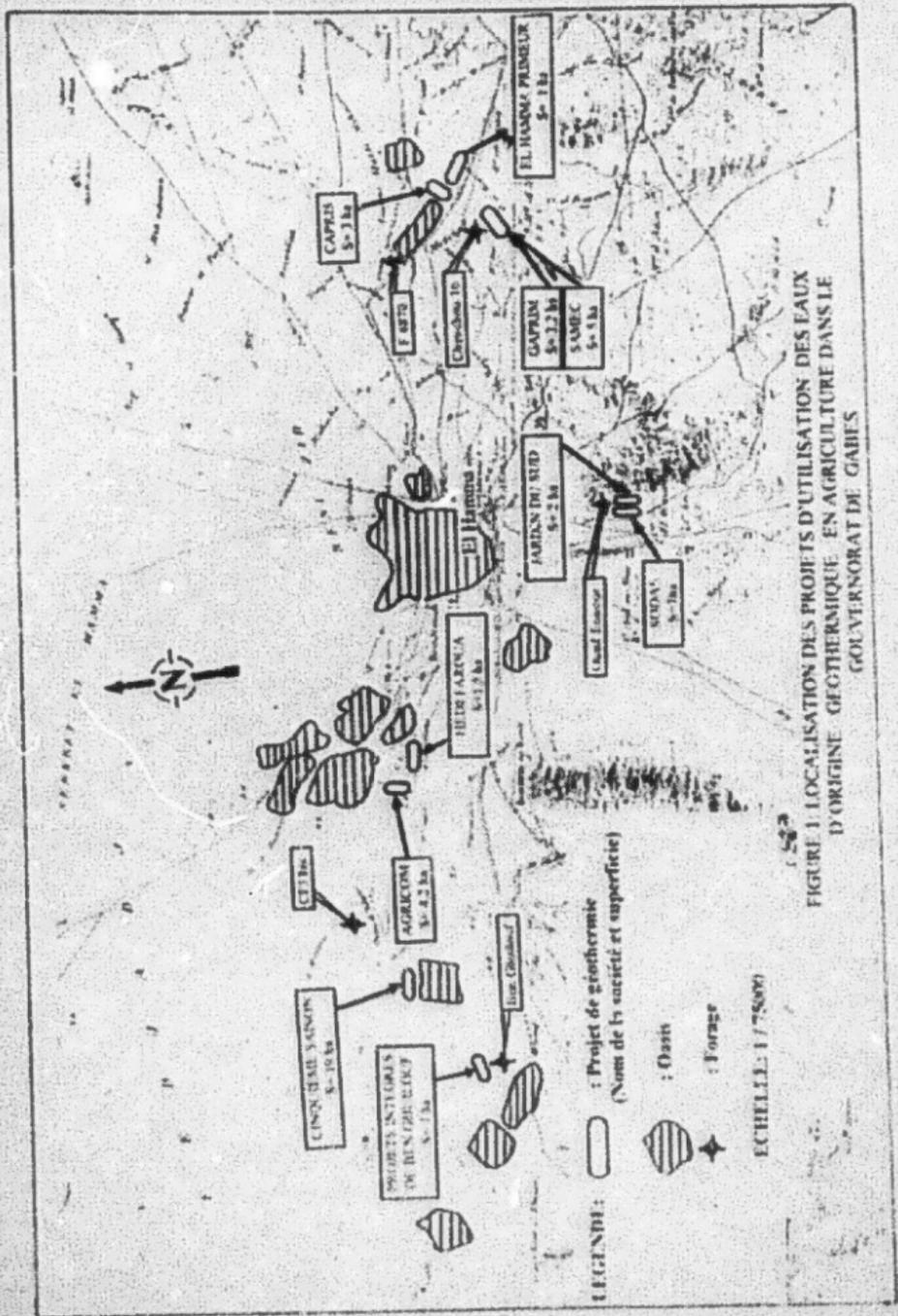


FIG. 3: Plan de situation
des sites géothermiques
du gouvernorat de Tozeur

Echelle: 1/200 000



PTC. 2: Plan de situation
des sites géothermiques
du gouvernorat de Kébil
Echelle: 1/200.000



utilisation pour l'irrigation, d'environ 25 à 30 °C et de 18 à 20 °C respectivement pour les cultures sur sol en place et celles sur substrat (Resubfer.wri et Refroidi.wri).

La qualité de ces eaux est assez médiocre, leur salinité varie de 1.4 à 3.2 g/l et la teneur en Ca, Mg, Na et Cl dépasse même les seuils d'une utilisation correcte. D'après le diagramme de classification des eaux USDA, la plupart des eaux se classent dans la zone à danger moyen et ne peuvent être, par conséquent, utilisées que si les possibilités de drainage sont bonnes. Par contre, en se basant sur les normes de classification des eaux à utilisation horticole, ces dernières sont considérées comme déconseillées pour l'irrigation (Qualeau.wri). Leur utilisation impose alors une bonne gestion des eaux et des sols pour éviter la dégradation des sols.

Tableau 2: Tolérance de quelques cultures à la salure de l'eau d'irrigation en fonction de la texture des sols (Durand 1983). (in Mtimet et al. 1995)

| Texture | Cultures | Limite super de tolérance (mS/cm) |
|---------|----------------------|-----------------------------------|
| Sable | Palmier | 20 (15,5 exp.) |
| | Cultures Maraichères | |
| | Fourrage | 12 |
| | Grande culture | 10 |
| S-L | Palmier | 6 à 10 |
| | Cultures Maraichères | 4,5 |
| | Fourrage | 7 |
| | Grande culture | 6 |
| Limon | Palmier | 8 |
| | Cultures Maraichères | 3,5 |
| | Fourrage | 5 |
| | Grande culture | 4,5 |
| L-A | Palmier | 6 |
| | Cultures Maraichères | 2,4 |
| | Fourrage | 3,5 |
| | Grande culture | 3 |
| Argile | Palmier | 3 |
| | Cultures Maraichères | 1,2 |
| | Fourrage | 1,8 |
| | Grande culture | 1,6 |

1.2.2: Maîtrise de la salinité des sols

Dans les serres géothermiques, la salinité des sols est mesurée par la méthode de l'extrait aqueux 1/2. Cette méthode semble être meilleure que celle de l'extrait 1/5, surtout lorsque le sol contient des sels insolubles ou peu solubles comme le gypse (Maisafer.wri). Dans le cas d'une irrigation fertilisante, une salinité supérieure à 3 mS/cm de l'extrait aqueux 1/5 est considérée dangereuse pour les cultures (Tableau 2).

Le mode d'irrigation utilisé dans les serres chauffées est le goutte à goutte. Des critères de choix des équipements d'irrigation et de chauffage ont été définis (Normes.wri). L'estimation des besoins en eau d'irrigation a été calculée en tenant compte du rayonnement global, de la température, du stade végétatif et de la fraction de lessivage (Tabirri.wri, Ficalcir.wri, Ficoniri.wri, Irriser.wri, Tabirri.wri, Irricsl.wri)

Tableau 3: Appréciation de la conductivité CE (mS/cm) pour les cultures sous serre en condition d'irrigation fertilisante (in Maisafer.wri)

| CE (1/2) | CEs | CEe | Appréciation |
|----------|---------|-----------|-----------------------|
| < 1 | < 4 | < 2.5 | difficile à atteindre |
| 1 - 1.5 | 4 - 6 | 2.5 - 4 | Très bon |
| 1.5 - 2 | 6 - 8 | 4 - 5.5 | Bon |
| 2 - 3 | 8 - 12 | 5.5 - 7.5 | Acceptable |
| 3 - 4 | 12 - 16 | 7.5 - 12 | Dangereux |
| > 4 | > 16 | > 12 | Catastrophique |

avec: CE (1/2) : Conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/2
 CE_s : Conductivité électrique de la solution du sol
 CE_e : Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée estimée par la formule suivante: $CE_s = 1.6 CE_e - 0.18$ (in Maisafer.wri)

L'utilisation d'une eau chargée en sels, entraîne une salinisation et une accumulation excessive des anions dans le sol ou le substrat. Ce risque est évident dans les serres du Sud tunisien irriguées par les eaux géothermales pour les raisons suivantes:

- Les eaux géothermales sont chargées en sels
- Absence de lessivage naturel par les eaux pluviales
- Une augmentation de la salinité des eaux d'irrigation d'environ 1 à 1.5 mS/cm par les engrais chimiques.

Pour réduire ce risque, le lessivage artificiel des sols dans de bonnes conditions de drainage s'impose. La fraction de lessivage est en moyenne de 20 à 30 % des besoins en eau des cultures et peut atteindre périodiquement les 50 %.

Pour maîtriser la salinité des sols, plusieurs moyens sont utilisables (Maisafer.wri et Rapport de synthèse finale, 1995):

- Fertiliser adéquatement en contrôlant la fraction de lessivage et la salinité des sols.
- Mélanger les eaux brutes avec les eaux douces (d'origine pluviale ou de condensation).
- Adapter les solutions standards à la salinité des eaux.
- Mettre les plantes dans les zones les moins salées (au milieu des bulbes d'humidité).
- Cultiver sur substrat.
- L'irrigation fertilisante avec de l'eau acidifiée seulement. En culture sur substrat, il est conseillé de réserver la dernière irrigation de la journée pour l'opération de lessivage avec de l'eau acidifiée. Pour les cultures sur sol classique, il est plutôt conseillé de procéder à une journée sans fertilisants chaque 3 à 4 jours dès que la salinité du sol commence à augmenter.
- L'utilisation des acides humiques et fulviques pour maintenir la porosité des sols.

Pour mener au mieux les irrigations, un logiciel "IRRFERT" a été développé. Il permet de calculer les besoins en eau des cultures, la durée des irrigations et la quantité d'engrais à apporter.

En plus de la salinité des sols, des problèmes de colmatage des gaines d'irrigations ont été observés. Ce phénomène est, en grande partie, à l'origine de l'hétérogénéité de l'humidité des sols, ce qui pourrait favoriser l'hydromorphie et la salinisation des sols. Pour réduire ce risque, il est recommandé:

- D'éviter le refroidissement atmosphérique des eaux (sur des tours de refroidissements), qui est à l'origine des colmatages et d'utiliser la méthode de refroidissement par séro-réfrigération (par tuyaux de chauffage) (Refroidi.wri)
- D'irriguer avec une solution fertilisante à pH 5.5 et d'effectuer un entretien régulier des irrigames(tous les 2 ou les 3 semaines) en augmentant la pression et en réduisant le pH à 3 (Ficomiri.wri).

1.3: Ferti-irrigation (fertigation)

La fertilisation peut être conduite de plusieurs façons:

- Selon les exportations des cultures pour un rendement projeté.
- En solution semi-équilibrée.
- En solution équilibrée.

Au début du projet PLUGA, les agriculteurs utilisaient une solution fertilisante unique, notamment la solution de Coic-Lesaint. Actuellement et en se basant sur des résultats d'expérimentations, l'utilisation des solutions semi-équilibrées, spécifiques à chaque culture est recommandée (Rapport de synthèse final, 1995 et calfat.wri). Cette dernière consiste à apporter les engrais à chaque irrigation afin d'avoir des teneurs en macro-éléments dans la solution fertilisante identiques à celles de la solution équilibrée (tableau 4), tout en tenant compte de la composition chimique des eaux géothermales.

A partir des résultats d'analyses chimiques de l'extrait aqueux 1/2 des sols ou des substrats, il est possible de modifier le calendrier de fertilisation (Tableau 4)

Tableau 4: Appréciation de la richesse du sol ou du substrat à partir des analyses chimiques d'un extrait aqueux 1:2 (d'après Mianfer.wri)

| Appréciation | N (mg/l) | P (mg/l) | K (mg/l) | Mg (mg/l) | Besoins |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------------|
| Pauvre | 40 | <10 | < 80 | 45 | Solution équilibrée |
| Moyennement pauvre | 60 | 10 | 80-120 | 60 | Solution équilibrée |
| Bien pourvu | 80 | 17 | 120-160 | 60 | Exportation |
| Riche | 120 | >20 | >160 | 90 | Nuls |

Les normes de fertilisation diffèrent selon l'espèce. Toutefois, pour le finkou et la pastèque, on peut utiliser celles du melon (Tableau 5)

Tableau 5: Normes de la solution équilibrée (me/l) pour les différentes espèces culturales.

| Culture | N | K | Ca | Mg | H ₂ PO ₄ | SO ₄ |
|-----------|------|-----|-----|-----|--------------------------------|-----------------|
| Tomate | 15.3 | 8.8 | 8.5 | 4 | 1 | 7.5 |
| Melon | 14.3 | 6 | 8.5 | 2 | 1.3 | 2.5 |
| Concombre | 17.3 | 8 | 8 | 4.8 | 1.3 | 2.8 |

Les techniques de la fertilisation dans les serres chauffées sont les suivantes (Said A., 1994):

- Les éléments majeurs (N,P,K) sont injectés dans la solution d'irrigation et les oligo-éléments sont donnés par pulvérisation foliaire
- Utilisation d'engrais acidifiants pour réduire le pH des sols
- Un logiciel 'IRFERT' est développé pour permettre la programmation de la fertilisation surtout dans les serres automatisées

Dans une tentative de diminuer la salinité des solutions fertilisantes, des expériences avec des apports plus faibles en N et P sur tomate et melon ont montré qu'il est impossible de réduire ces apports si on utilise des eaux géothermales assez chargées en sels sans affecter le rendement. Par contre, l'addition de silice (à raison de 3 me/l) dans la solution fertilisante a permis le maintien et le renouvellement du système racinaire et a contribué à une augmentation à la résistance des cultures aux maladies de faiblesses comme la Pythium.

1.4. Production, rendement et exportation

La production agricole totale dans les projets d'irrigation avec les eaux géothermales était de 3650, 5644 et 5336 tonnes respectivement pour les campagnes agricoles 1990-91, 1991-94 et 1994-95 (Tableau 5). La chute de production durant la campagne 1994-95 est attribuée, à un changement d'occupation des sols de la société COOPRIM de Gabès et un retard de 8 semaines pour la plantation dans la région de Kébili (chaque mois de retard, engendre une chute d'environ 28 T/ha) (Rapport de synthèse final, 1995)

Tableau 6: Evolution des superficies, des productions, des rendements et des exportations des cultures irriguées par les eaux géothermales du Sud tunisien

| Année | 1985-86 | 86-87 | 87-88 | 88-89 | 89-90 | 90-91 | 91-92 | 92-93 | 93-94 | 94-95 |
|-----------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Surface (ha) | 1.3 | 5.3 | 11 | 21 | 33 | 41 | 58.9 | 64.05 | 68.3 | 70 |
| Production (T) | - | - | - | - | - | 3644 | 5302 | 5372 | 5644 | 5336 |
| Exportation (T) | - | - | 60 | 142 | 374 | 439 | 1150 | 1456 | 1151 | 1062 |
| % de la prod. | - | - | - | - | - | - | 21.6 | 27 | 20.4 | 20 |
| Rendement kg/m ² | - | - | - | - | - | 8.0 | 9.0 | 8.4 | 8.3 | 7.6 |

Dans la région de Gabès, les chutes de rendement enregistrées à partir de la campagne 1991-92 sont, en grande partie, le résultat des flétrissements dus à la salinité et l'asphyxie racai

qu'aux problèmes des nématodes dans les grandes exploitations. Toutefois, on a enregistré une augmentation du rendement durant la campagne 1994-95. Cette augmentation est attribuée à la mise en culture sur substrat. Dans les autres gouvernorats, les variations de rendements sont le résultat, en partie, de l'aggravation des problèmes de salinité et de phytopathologie.

Quant aux exportations, ces dernières ont progressé jusqu'à la campagne 1992-93. Par contre durant la campagne 1993-94, il y a eu une réduction de la quantité exportée (1151 tonnes). Ce résultat s'explique par les problèmes de salinité rencontrés à Chenchou et Bechima, aux problèmes de collecte et de qualité aux niveaux des petites exploitations de Kébili et aux problèmes de nématodes au niveau de la 5^{ème} Saison (Rapport de synthèse final, 1995).

Conclusion

L'utilisation d'une eau géothermale, saumâtre en agriculture, constitue un risque consenti de dégradation des sols, en particulier leur salinisation. Toutefois, ce risque peut être réduit en respectant certaines règles de gestion des eaux et des sols. Dans ce cadre, le projet de coopération tuniso-belge (PUGA) a essayé de suivre l'évolution du secteur et proposé des solutions aux divers problèmes rencontrés, en particulier:

- Pour réduire les risques de salinisation des sols, un contrôle permanent doit être réalisé avec association du lessivage artificiel dans de bonnes conditions de drainage.
- Les chutes de production et de rendement sont attribués a priori, en grande partie, à la salinisation des sols et aux problèmes phytosanitaires (principalement les nématodes).
- Les chutes enregistrées au niveau des exportations sont dues à la qualité moyenne des produits de Kébili, à la baisse de production, à une concurrence plus importante avec les pays producteurs des cultures primeurs et enfin par les contraintes et les normes posées par les accords du GATT.

2. ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE DANS LE SUD TUNISIEN

2.1. Les données de base

2.1.1. Les données climatiques

Les quelques données, se rapportant au climat et au bio-climat des trois régions visitées et concernées par l'irrigation aux eaux géothermales, recueillies à partir de quelques ouvrages se résument dans le tableau suivant:

Tableau 7: Climat et bio-climat des différentes régions visitées

| Région | Mérid | Madaya | Gabès |
|----------------------------|--|---|--|
| Climat et bio-climat | Etage bioclimatique sub-arctique supérieur à hiver tempéré | Climat aride mésotherme, une influence climatique continentale froide en hiver et chaude en été | Climat méditerranéen aride à étage bioclimatique inférieur |
| Température | - moyenne annuelle: 22°C - Max. abs.: 45°C Août - Min. abs.: 2,5°C Janvier | - moyenne annuelle: 21°C - moyenne saison sèche: 30°C (juin - septembre) - moyenne saison froide: 12°C (décembre - février) | - moyenne annuelle: 19°C |
| Les vents | - de secteur: N, NE, NW au printemps S, SW en été | - de secteur: Ouest: chaud (souffle) en été Est et Nord-Est: vent de sable au printemps Ouest et Nord-Ouest: froid et sec en hiver Est et Nord-Est: les plus fréquents, fréquence 120j/an | - de secteur: Est et Nord-Est: les plus fréquents |
| Nbr de jours de sécheresse | 35 jours | | 28 jours |
| Les pluies | 90 mm (84 ans) | 90 mm (77 ans) | 187 mm |
| ETP et déficit hydrique | - E.T.P. = 1650 mm - d = 1550 mm | - E.T.P. = 1156 mm - d = 1066 mm | - E.T.P. = 1000 mm (Thornthwaite) - d = 519 mm - E. Fiche = 2022 mm |

2.1.2. Les eaux d'irrigation

2.1.2.1. Origine (Mamou A., 1995; Abidi B. et Kbla M., 1995)

Ces eaux captées chaudes, proviennent de nappes souterraines baignant des aquifères de nature très variable allant du calcaire du Crétacé et du Jurassique jusqu'aux sables du Miocène. La nappe la plus profonde est celle du Continental Intercalaire. Elle fournit les eaux les plus chaudes (67 - 70° C) et participe avec 70 % du volume d'eau total destiné aux projets de la géothermie. Les deux autres nappes alimentant localement de tels projets sont celles de la Jeffara dans la région de Chenchou et du Complexe Terminal dans la large fissure du Jerid-Nefzaoua. Leurs eaux sont moins chaudes puisqu'elles sont plus superficielles. La température de ces eaux oscille entre 45° et 48°C.

2.1.2.2. Qualité

Des échantillons d'eau ont été prélevés, au cours des visites de terrain, sur les divers forages, à une température proche de 30°C, soit après le retour du chauffage, dans le réservoir d'accumulation. Les résultats d'analyses de ces échantillons sont portés sur le tableau 8.

Les valeurs de la CE^2 et du SAR^1 sont presque identiques pour tous les échantillons prélevés. Ces valeurs sont voisines de 4 mS/cm pour la CE et sont inférieures à 10 pour le SAR. Deux cas font, cependant, l'exception: Le forage Chenchou 1 captant la nappe de Jeffara présente une eau de CE égale à 4,7 mS/cm et le forage C1 12 captant le Continental Intercalaire se caractérise par une eau de CE égale à 5,5 mS/cm et de SAR égal à 10,8. L'ensemble de ces eaux, malgré une salinité relativement élevée, peut être considéré de qualité acceptable pour l'irrigation. Les matériaux qui seront irrigués doivent, toutefois, être suffisamment poreux et drainants, pour permettre d'évacuer les excès de sels, avec les fractions lessivantes.

La classification de ces eaux, selon le diagramme de Riverside, a permis de les ranger dans la classe C4 S1, exception faite, bien entendu, du forage Douz C112 où la classe retrouvée est C4S2. La valeur du SAR de cette eau dépasse 10, le pouvoir d'absorption du sodium devient donc plus élevé et l'alcalinisation du complexe absorbant est plus risquée. Excepté ce cas, la sodification du sol n'est pas probable, mais la salinisation est possible puisque la classe de conductivité est maximale (C4). Ainsi des valeurs élevées de la capacité d'échange cationique (CEC) peuvent être tolérées, compte-tenu de ces faibles risques de sodification.

Sur le diagramme de Piper (tableau 3 et annexe) toutes les eaux prélevées présentent le même faciès géochimique qui est chloruré et sulfaté calcique. Seuls trois cas sont différents. Il s'agit des eaux du forage Douz C112, Touzur C12 et Jemma, dont les faciès sont, respectivement, chloruré sodique, chloruré sodique et sulfaté sodique. Cette similitude dans les faciès s'explique par le fait que les eaux captées circulent dans des aquifères à constitutions chimiques très rapprochées et proviennent de nappes inter-communicantes. Les nappes de moyenne profondeur sont, en effet, alimentées par des remontées artésiennes de la nappe du Continental Intercalaire.

En conclusion, les eaux d'irrigation dans les périmètres de production de cultures de primeurs sous abris chauffés sont de qualité acceptable (C4). Elles peuvent irriguer des matériaux de texture légère ou moyenne (sableuse, sablo-limoneuse, limono-sableuse ou même sablo-argileuse), et ce, au vu de leur faible pouvoir d'alcalinisation (S1).

² Conductivité électrique

¹ Sodium absorption ratio

Tableau 8: Composition chimique des eaux géothermales utilisées en irrigation pour les cultures de primeurs dans le sud Tunisien.

| Forage | Date de Prélèvement | pH | CE (µm/cm) | RS (g/l) | Bilan ionique (mg/l) | | | | | | | |
|----------------|---------------------|-----|------------|----------|----------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------|
| | | | | | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | SAR |
| El Hamma C11b | 26-3-96 | 7,0 | 3,3 | 2,3 | 15,3 | 3,0 | 17,0 | 1,37 | 14,5 | 19,6 | 5,0 | 3,6 |
| Touzeur C12 | 26-3-96 | 6,9 | 4,5 | 3,2 | 19,0 | 3,9 | 28,3 | 1,32 | 31,8 | 20,0 | 4,0 | 6,2 |
| Limagress C18 | 27-3-96 | 7,7 | 3,5 | 2,3 | 15,2 | 6,0 | 14,3 | 1,12 | 16,4 | 18,3 | 6,0 | 4,4 |
| Doug C112 | 27-3-96 | 7,8 | 3,5 | 4,0 | 16,5 | 7,0 | 37,0 | 1,03 | 41,0 | 16,6 | 3,0 | 10,8 |
| Oum El Farth | 26-3-96 | 7,4 | 3,5 | 2,5 | 14,2 | 7,0 | 15,2 | 1,12 | 18,2 | 16,1 | 5,0 | 4,7 |
| Saïdane | 26-3-96 | 7,3 | 3,8 | 2,9 | 18,4 | 6,0 | 17,5 | 0,98 | 18,3 | 21,8 | 5,0 | 5,0 |
| Jemna | 26-3-96 | 7,3 | 4,0 | 3,0 | 22,5 | 6,0 | 23,8 | 1,0 | 20,4 | 17,7 | 3,0 | 7,8 |
| Chenchoh I | 4-3-96 | 7,3 | 4,7 | 3,3 | 19,5 | 8,0 | 16,5 | 1,09 | 20,4 | 22,4 | 4,0 | 4,1 |
| Khebayat CF1b | 5-3-96 | 7,0 | 4,0 | 2,9 | 17,9 | 8,0 | 12,6 | 1,08 | 14,5 | 24,2 | 2,0 | 3,1 |
| Khebayat CF3b | 5-3-96 | 7,0 | 3,9 | 2,8 | 19,2 | 8,0 | 12,4 | 1,05 | 13,4 | 21,8 | 5,0 | 3,4 |
| Jardins du Sud | 15-3-96 | 7,2 | 4,4 | 3,2 | 20,2 | 6,0 | 21,4 | 1,90 | 24,6 | 23,0 | 4,0 | 5,9 |

Tableau 9: Classification des eaux géothermales selon les diagrammes USDA et de Piper

| Forage | Classement sur le diagramme de Riverside (USDA) | Pouvoir de salinisation | Pouvoir d'alcalinisation | Classement sur le diagramme de Piper | Aptitude à l'irrigation |
|-----------------|---|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| El Hamma C11b | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |
| Touzeur C12 | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée sodique | Moyenne |
| Limagress C18 | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |
| Doug C112 | C4S2 | Très fort | Moyen | Chlorurée sodique | Médiocre |
| Oum El Farth | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |
| Saïdane | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |
| Jemna | C4S1 | Très fort | Faible | Sulfatée sodique | Moyenne |
| Chenchoh I | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |
| Khebayat CF1bis | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |
| Khebayat CF3bis | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |
| Jardins du Sud | C4S1 | Très fort | Faible | Chlorurée et sulfate calcique | Moyenne |

2.1.3. Reconnaissance pédologique des sols irrigués

En se basant sur les nombreux travaux pédologiques dans le Sud tunisien (Pouget 1964, Ben Salah 1967, Pontanier 1968, Mtimet 1987 et 1989), il a été possible de regrouper les sols des oasis en trois principales classes (Mtimet A., 1995):

- Les sols halomorphes
- Les sols peu évolués d'apport
- Les sols hyalimorphes

Les sols peu évolués d'apport, se caractérisent dans la plus part des cas par une concentration élevée en gypse. Dans les oasis, la qualité des eaux d'irrigation d'une part, et la

présence d'accumulation de gypse dans le profil de sol sous forme d'encroûtement ou de croûte, d'autre part, ont favorisé l'hydromorphie et la salinisation des sols (Mtimet A., 1995). Dans les oasis de Gabès (Said A., 1995) les sols étaient à l'origine peu évolués d'apport et sont devenus en fonction du temps des sols hydromorphes à gley et pseudogley pour finir en sols halomorphes en cours de dégradation.

2.1.4. Occupation des sols et évolution des spéculations

Les principales cultures pratiquées dans les périmètres aux eaux géothermales du Sud sont la tomate continue, le melon d'arrière saison et le melon de primeur (Tableau 9). La régression des superficies réservées aux melons d'arrière saison s'explique par les problèmes de rendements dus, en grande partie, aux infections par le LYV, transmis par les mouches blanches. La progression des surfaces cultivées en tomate d'arrière saison est constatée dans la région de Gabès, où les agriculteurs considèrent cette culture plus sûre du point de vue de résistance à la salinité (Rapport final de synthèse, 1995).

Tableau 10: Evolution des spéculations et des surfaces cultivées (ha) par les eaux géothermales du Sud tunisien (in Rapport de synthèse final, 1995)

| | 1991-92 | 1992-93 | 1993-94 | 1994-95 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Melon arrière saison | 10 05 | 20 4 | 17 96 | 15 88 |
| Fakhou* arrière saison | 4 35 | 3 26 | 6 63 | 11 27 |
| Tomate arrière saison | 12 05 | 4 23 | 0 5 | 4 55 |
| Tomate continue | 14 45 | 18 8 | 22 72 | 13 65 |
| Tomate de primeurs | 4 72 | 2 00 | 2 56 | 10 95 |
| Piment de primeurs | 3 53 | 4 13 | 4 68 | 7 73 |
| Melon de primeurs | 19 35 | 23 73 | 23 62 | 21 11 |
| Fakhou de primeurs | 3 43 | 3 71 | 4 64 | 7 06 |
| Pastèque | 13 2 | 10 73 | 5 75 | 4 91 |
| Gombo | 1 00 | 0 55 | 0 40 | 1 50 |
| Concombre* de saison | 0 35 | 0 00 | 0 95 | 0 85 |
| Total | 86 48 | 91 59 | 90 41 | 99 46 |
| Surface Serre | 58 5 | 63 37 | 67 4 | 64 9 |
| Taux | 1 48 | 1 44 | 1 34 | 1 42 |

(*) Variétés utilisées

2.2. Typologie des périmètres: Essai de classification

2.2.1. Classification en fonction des facteurs économiques et infrastructurels

Ce critère de classement permet de scinder les projets de la géothermie en deux ensembles de taille et d'importance technique et économique différente. C'est ainsi qu'on trouve les grands projets techniquement modernes et les projets à caractère traditionnel.

2.2.1.1.- Les projets d'exploitation moderne

Ces projets se localisent dans la région d'El Hamma de Gabès et leurs promoteurs ont introduit les techniques de culture sous serres de grandes dimensions équipées de systèmes de fonctionnement automatique. En effet, la régulation de la température, de l'hygrométrie de l'air, des doses d'irrigation et des quantités de fertilisants à fournir, est gérée par micro-ordinateur permettant aux différents appareils commandant la fermeture et l'ouverture des toits

présence d'accumulation de gypse dans le profil de sol sous forme d'encroûtement ou de croûte, d'autre part, ont favorisé l'hydromorphie et la salinisation des sols (Mtimet A., 1995). Dans les oasis de Gabès (Saïd A., 1995) les sols étaient à l'origine peu évolués d'apport et sont devenus en fonction du temps des sols hydromorphes à gley et pseudogley pour finir en sols halomorphes en cours de dégradation.

2.1.4. Occupation des sols et évolution des spéculations

Les principales cultures pratiquées dans les périmètres aux eaux géothermales du Sud sont la tomate continue, le melon d'arrière saison et le melon de primeur (Tableau 9). La régression des superficies réservées aux melons d'arrière saison s'explique par les problèmes de rendements dus, en grande partie, aux infections par le LYV, transmis par les mouches blanches. La progression des surfaces cultivées en tomate d'arrière saison est constatée dans la région de Gabès, où les agriculteurs considèrent cette culture plus sûre du point de vue de résistance à la salinité (Rapport final de synthèse, 1995).

Tableau 10: Evolution des spéculations et des surfaces cultivées (ha) par les eaux géothermales du Sud tunisien (in Rapport de synthèse final, 1995)

| | 1991-92 | 1992-93 | 1993-94 | 1994-95 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Melon arrière saison | 10 05 | 20 4 | 17 96 | 15 88 |
| Fakhou* arrière saison | 4 35 | 3 26 | 6 63 | 11 27 |
| Tomate arrière saison | 12 05 | 4 23 | 0 5 | 4 55 |
| Tomate continue | 14 45 | 18 8 | 22 72 | 13 65 |
| Tomate de primeurs | 4 72 | 2 00 | 2 56 | 10 95 |
| Piment de primeurs | 3 53 | 4 13 | 4 68 | 7 73 |
| Melon de primeurs | 19 35 | 23 73 | 23 62 | 21 11 |
| Fakhou de primeurs | 3 43 | 3 71 | 4 64 | 7 06 |
| Pastèque | 13 2 | 10 73 | 5 75 | 4 91 |
| Gombo | 1 00 | 0 55 | 0 40 | 1 50 |
| Concombre* de saison | 0 35 | 0 00 | 0 95 | 0 85 |
| Total | 86 48 | 91 59 | 90 41 | 99 46 |
| Surface Serre | 58 5 | 63 37 | 67 4 | 64 9 |
| Taux | 1 48 | 1 44 | 1 34 | 1 42 |

(*) Variétés utilisées

2.2. Typologie des périmètres: Essai de classification

2.2.1. Classification en fonction des facteurs économiques et infrastructurels

Ce critère de classement permet de scinder les projets de la géothermie en deux ensembles de taille et d'importance technique et économique différente. C'est ainsi qu'on trouve les grands projets techniquement modernes et les projets à caractère traditionnel.

2.2.1.1.- Les projets d'exploitation moderne

Ces projets se localisent dans la région d'El Hamma de Gabès et leurs promoteurs ont introduit les techniques de culture sous serres de grandes dimensions équipées de systèmes de fonctionnement automatique. En effet, la régulation de la température, de l'hygrométrie de l'air, des doses d'irrigation et des quantités de fertilisants à fournir, est gérée par micro-ordinateur permettant aux différents appareils commandant la fermeture et l'ouverture des toits

des serres ainsi que les robinets d'injection des solutions fertilisantes, de fonctionner selon des valeurs compatibles avec les types de cultures et établies par les vulgarisateurs.

L'élément serre peut couvrir 2 ha à la fois sans interruption et plusieurs types de cultures peuvent être conduites sous le même toit. La même ligne peut produire deux campagnes de cultures différentes, une culture de tomate d'arrière-saison suivie d'une culture de melon de primeurs. Dans ce type de serre, le sol en place est utilisé pour une courte période de temps (2 années au maximum) et en raison de l'impossibilité de déplacer des équipements trop lourds, les promoteurs ont recours souvent à un nouveau substrat dont les critères et les propriétés ont été conseillés par l'équipe belge qui a veillé à la mise en place de la nouvelle technologie. Ce substrat est apporté d'une carrière de sable près d'Ouedhraf. La culture sur sol en place a montré, en effet, que plus la période de culture se prolonge, plus les infestations par les parasites (nématodes) et les chutes de rendements deviennent évidents.

Ces projets ont donc consommé des crédits importants et les investissements peuvent atteindre 1,5 millions de dinars pour un élément serre de 2 ha (société CAPKIS à Chemchou). Ils sont donc différents du point de vue économique des petits projets à caractère traditionnel se basant sur les serres de 500 m², non équipées par les commandes automatiques et n'utilisant souvent pas les apports de nouveaux substrats.

La culture sur substrat nécessite souvent l'aménagement de réseaux de drainage faisant évacuer les excès d'eau d'irrigation et les fractions lessivables. Ces eaux de drainage sont ensuite recueillies pour être réutilisées dans l'irrigation de cultures en plein champ, de saison.

La production de ces serres géantes est souvent destinée à l'exportation et la majorité des promoteurs ont construit des salles de tri et d'emballage, pour préparer leurs productions à l'écoulement vers des marchés étrangers.

Ce genre de projet n'a vu le jour que dans le gouvernorat de Gabès où les investisseurs se sont orientés d'une façon préférentielle grâce, certainement, à des facilités d'installation et d'encouragement.

2.2.1.2. Les projets à caractère traditionnel

Ce sont les projets basés sur la culture sous abri-serre de 500 m² de surface et n'employant pas de nouvelles techniques modernisantes. Tous les périmètres irrigués des gouvernorats de Kébili et de Tozeur se caractérisent par ce type d'exploitation, se limitant généralement à la mono culture et opérant par application des systèmes de rotation des cultures et de changement d'endroit. Récemment, le déplacement des équipements a été abandonné au profit d'une opération de changement de la couche arable "épuisée", par une nouvelle couche de même épaisseur prise généralement du même type de sol et d'un endroit situé juste à proximité de la zone irriguée. Les investissements sont donc moins coûteux et l'isolement des nouveaux apports de terre arable n'est souvent pas réalisé de sorte qu'une contamination rapide par les nématodes est possible. C'est à partir de la 4^{ème} année de culture que les agriculteurs procèdent au changement de la couche superficielle, c'est du moins ce qui a été constaté chez les agriculteurs contactés dans les périmètres visités.

Dans ces projets, les agriculteurs mettent parfois des investissements élevés de sorte qu'une vingtaine ou une trentaine de serres appartiennent à la même personne, mais la technique de conduite reste traditionnelle et n'a pas recours aux nouvelles technologies observées dans les serres de Gabès. Tout est manipulé manuellement, bien que le chauffage et le système d'irrigation goutte à goutte restent des installations communes et similaires.

Ces détails relatifs à la classification des projets de la géothermie ont été fournis pour tenter de rassembler les périmètres en groupes similaires, présentant les mêmes caractéristiques, de la technique de production et de l'importance financière ou économique.

2.2.2. Classification en fonction du milieu physique

2.2.2.1. Les périmètres voisins de Chott El Jérid, non contaminés par une nappe phréatique salée

Le périmètre représentatif de cette unité est de celui de Tozeur-Route de Nefta, Km5, dont les caractéristiques physico-chimiques des sols se présentent comme suit:

2.2.2.1.1. Répartition de la texture du sol

Tableau 11: Fractions granulométriques du site de Tozeur-Route de Nefta

| | 0-20 | 20-40 |
|------------------------------|------|-------|
| <i>Argiles + Limons fins</i> | 0,5 | 3,5 |
| <i>Limons Grossiers</i> | 3,5 | 5,5 |
| <i>Sables Fins</i> | 35 | 50 |
| <i>Sables Grossiers</i> | 54 | 38 |

L'analyse granulométrique qui a porté sur les 40 premiers centimètres du sol montre un matériau constitué principalement d'éléments grossiers. Le sol comporte entre 90 et 96% de sables fins et grossiers; les sables grossiers dominent au niveau de l'horizon 0-20 cm (54% contre 36%) et céderont la place aux sables fins (36% contre 50%) au niveau de l'horizon qui suit (20-40 cm).

2.2.2.1.2. L'humidité du sol

Les valeurs mesurées sur un sol témoin montrent un état de sol initial sec, avec des humidités pondérales ne dépassant pas les 3%. Ces valeurs initiales ne sont pas trop dépassées dans les deux serres irriguées, où elles varient entre 4 et 10% pour les 40 premiers centimètres de sol, au delà desquels elles se stabilisent à la valeur de 5%.

2.2.2.1.3. Variation de la salure du sol

La description de la variation de la salure du sol est à deux niveaux: Le premier est celui de sa variation avec la profondeur du sol, décrivant ainsi le type de profil: ascendant ou descendant; le second est celui de sa variation dans le temps.

Les valeurs mesurées sur un sol témoin montrent une salure moyenne ne dépassant pas les 3,5 mS/cm le long du profil (3,2 - 3,5 mS/cm).

Une augmentation de la salure est nettement visible dans les deux serres irriguées (2 et 5 ans), les profils sont ascendants. Avec une eau d'irrigation dont la salinité est d'environ 4,5 mS/cm, la salure du sol croît et atteint la valeur de 5 mS/cm pour une serre de 2 ans sur les 20 premiers centimètres de sol; elle est plus importante pour une serre plus ancienne de 5 ans et atteint la valeur de 6,2 mS/cm. Au delà des 20 cm, des valeurs de conductivités électriques supérieures aux valeurs témoins, se rapprochent progressivement de la conductivité de l'eau d'irrigation.

2.2.2.1.4. Teneur en gypse

La variation de la teneur en gypse dans le sol témoin, le long du profil est faible; elle se situe entre 11,4 et 17,3 %. La mesure de cette même variable dans une serre de 2 ans, montre une teneur moindre dans les 2 premiers horizons (0-20 et 20-40 cm) du sol, avec respectivement 4,8 et 9,8 %, pour le reste des horizons. L'allure de la courbe suit pratiquement celle du sol témoin. A l'inverse, et pour la serre la plus ancienne (5 ans), seulement l'horizon 0-20 cm possède une teneur inférieure au témoin. A partir de 20 cm et jusqu'à 80 cm, le sol est plus chargé en gypse (par rapport au témoin), le gypse est à environ 20 % entre 20 et 60 cm pour atteindre la valeur de 32 % au niveau de l'horizon 60-80 cm, zone préférentielle d'accumulation du gypse issu probablement des eaux d'irrigation. A partir de 80 cm et jusqu'à 120 cm, le taux de gypse baisse pour atteindre à peu près celui du sol témoin non irrigué.

2.2.2.1.5. Teneur en P_2O_5 assimilable

Sur un sol initialement pauvre en P_2O_5 assimilable (13 et 7 ppm pour les 2 premiers horizons), l'apport au sol du phosphore par les agriculteurs à la manière traditionnelle semble satisfaire les cultures notamment dans les premiers quarante centimètres, zone racinaire; la teneur en P_2O_5 assimilable est de l'ordre de 70 ppm dans l'horizon 0-20 cm et 30 ppm dans l'horizon 20-40 cm. Le suivi de cet élément dans les horizons plus profonds montre que ces horizons profitent de l'excès de phosphore offert à la plante.

2.2.2.1.6. Teneur en K_2O assimilable

La teneur en K_2O assimilable le long des trois profils est faible si on estime que pour un sol de texture grossière le seul minimum de K_2O assimilable que les plantes doivent obtenir est de l'ordre de 200 ppm.

2.2.2.2. Les périmètres situés à basse altitude, contaminés par une nappe phréatique salée

Les périmètres qui ont été jugés représenter cette sous-paysagique sont :

2.2.2.2.1. Le périmètre de Haniche - Douz

2.2.2.2.1.1. Répartition de la texture

L'analyse de la texture des sols de Haniche-Douz au niveau d'une serre de 2 ans montre une texture presque entièrement constituée de sables fins (96 %) sur les premiers soixante centimètres du sol au delà desquels ce taux commence à diminuer au profit, et d'une manière presque équitable, des sables grossiers et de l'ensemble argiles + limons fins; cette dernière fraction fine atteint alors un taux moyen de 17 % entre 80 et 120 cm de profondeur.

Tableau 12: Répartition de la texture en fonction de la profondeur (Haniche-Doux)

| | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 | 100-120 |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Argiles + Limons fins | 1 | 2,5 | 3 | 8 | 18 | 18 |
| Limons grossiers | 1 | 1 | 0,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Sables fins | 98 | 96 | 96 | 82 | 65,5 | 65,5 |
| Sables grossiers | 1 | 0,5 | 0,5 | 7,5 | 16 | 14 |

2.2.2.1.2. L'humidité du sol

Le taux de saturation en eau du sol de Haniche au niveau des deux serres (2 et 4 ans) et du sol témoin montre des valeurs variant entre 35 et 40 %. Le sol témoin présente une humidité pondérale relativement forte à partir de 20 cm. Elle est voisine de 18 % à partir de 60 cm et jusqu'à 120 cm. Ce même paramètre mesuré à l'intérieur des deux serres et aux pieds des cultures montre un profil d'humidité croissant; à partir d'une valeur qui se situe aux environs de 13 %, ce taux augmente progressivement en profondeur pour atteindre la saturation au niveau de l'horizon 100-120 cm laissant penser à l'existence d'une nappe à partir de ce niveau; mais les valeurs mesurées pour le sol témoin montrent qu'on est encore loin de cette situation.

2.2.2.1.3. Variation de la salure des sols et géochimie des sels

Tableau n°13 : Salure et géochimie des sels

| Site | Profondeur | Ca | | Mg | | Na+K | | Cl | | SO4 | |
|----------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|
| | | g/l | meq/l | g/l | meq/l | g/l | meq/l | g/l | meq/l | g/l | meq/l |
| Serre de 1 an | 0-20 | 0,00 | 24,97 | 41,80 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | | | | |
| | 20-40 | 0,00 | 22,42 | 30,40 | 0,81 | 0,73 | | | | | |
| | 40-60 | 0,70 | 20,40 | 20,54 | 0,70 | 0,10 | | | | | |
| | 60-80 | 0,20 | 20,40 | 19,20 | 0,70 | 0,00 | | | | | |
| | 80-100 | 0,00 | 19,13 | 18,70 | 0,80 | 0,12 | | | | | |
| | 100-120 | 1,30 | 16,93 | 14,70 | 0,81 | 2,10 | | | | | |
| Serre de 2 ans | 0-20 | 1,00 | 16,93 | 20,80 | 0,70 | 0,75 | | | | | |
| | 20-40 | 0,10 | 16,00 | 20,41 | 0,70 | 2,43 | | | | | |
| | 40-60 | 0,70 | 12,71 | 18,10 | 2,70 | 2,10 | | | | | |
| | 60-80 | 1,00 | 22,43 | 12,70 | 2,80 | 2,00 | | | | | |
| | 80-100 | 0,00 | 19,90 | 14,00 | 3,00 | 0,91 | | | | | |
| | 100-120 | 0,60 | 22,00 | 14,70 | 0,70 | 0,57 | | | | | |
| Sol témoin | 0-20 | 19,70 | 00,00 | 16,70 | 00,30 | 20,00 | | | | | |
| | 20-40 | 00,00 | 07,07 | 11,90 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| | 40-60 | 01,00 | 11,47 | 10,30 | 0,00 | 1,00 | | | | | |
| | 60-80 | 0,00 | 11,40 | 13,91 | 0,07 | 0,73 | | | | | |
| | 80-100 | 1,70 | 10,00 | 15,70 | 0,07 | 0,00 | | | | | |
| | 100-120 | 0,00 | 20,47 | 12,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | |

a. Variation de la salure

Le site de Haniche se situe dans une zone de dépression contaminée par une nappe phréatique située à faible profondeur dont l'action néfaste sur le sol se traduit par une salinisation à travers le phénomène de remontée capillaire. En effet, le profil salin dans le sol témoin est de type décroissant. L'horizon de surface est salé, de l'ordre de 16 mS/cm entre 0 et 20 cm devenant un peu moindre au niveau de l'horizon 20-40 cm, de l'ordre de 10 mS/cm; cette teneur est de l'ordre de 7 mS/cm pour le reste des horizons.

La conductivité électrique mesurée sur des échantillons prélevés à l'intérieur des serres (1 an et 2 ans) ne montre pas de variations sensibles avec la profondeur, elle varie, en effet, entre 5 et 6,5 mS/cm, dépassant, ainsi, légèrement la salinité de l'eau d'irrigation.

b. Géochimie des sels

L'analyse des ions apparés au niveau des trois sites montre la prédominance des sels de chlorures de sodium (NaCl) au niveau des 40 premiers centimètres pour le sol témoin, un certain équilibre entre ce sel et celui du sulfate de calcium (CaSO_4), présent sous forme de gypse, s'établira à partir de 40 cm. A l'inverse, à l'intérieur des serres, les sulfates de calcium dominent la situation le long des profils. La teneur élevée en ions sulfates dans les eaux d'irrigation est donc à la base de l'enrichissement des horizons de surface en cet élément.

2.2.2.1.4. Variation de la teneur en gypse

La courbe de variation de la teneur en gypse dans le sol témoin et le long de la profondeur montre un état d'encroûtement gypseux de nappe (50 % de gypse) au niveau de l'horizon 80-100 cm. Par contre, on note l'absence ou la présence en éléments traces du gypse jusqu'à 60 cm à l'intérieur des serres, pour atteindre la valeur moyenne de 20% dans la serre de 1 an à partir de 60 cm. La serre irriguée depuis 2 ans présente des valeurs plus faibles et une absence de gypse au niveau 100-120 cm.

2.2.2.1.5. Variation de la teneur en P_2O_5 assimilable

Les différentes valeurs mesurées aux différents sites de prélèvement montrent une teneur faible en P_2O_5 . Les maximales rencontrées sont au niveau de l'horizon de surface (0-20 cm). Elles sont de 6, 15 et 20 ppm respectivement pour le sol témoin, la serre de 2 ans et la serre de 1 an.

2.2.2.1.6. Variation de la teneur en K_2O assimilable

Les teneurs en K_2O assimilable semblent être satisfaisantes à l'intérieur de la serre de 1 an (180-190 ppm) et jusqu'à 40 cm de profondeur. A l'inverse, dans la serre de 2 ans elles sont assez faibles pour assurer une bonne alimentation des cultures en potassium.

2.2.2.2. Le Périmètre de Khebayet: Cinquième Saison

Les mesures faites ont porté sur deux endroits différents, l'un à l'intérieur d'une serre où on pratique des cultures sur substrats en un endroit cultivé pendant une période de 8 ans et délaissé récemment, une année auparavant; le second à l'extérieur des serres, sur sol témoin.

2.2.2.2.1. Répartition de la texture

Le sol de l'exploitation montre une texture grossière constituée essentiellement de sables fins jusqu'à environ 80% dans les horizons de surface où le taux des argiles ne dépasse pas les 7 %. Ce taux sera doublé à partir de l'horizon 60-80 cm où le taux de sables grossiers présentera son minimum à 62 %.

2.2.2.2.2. L'humidité du sol

Les taux d'humidité mesurés sur les deux sites de prélèvement montrent des profils hydriques croissants vers le bas. Ils sont entre 25 et 28 % aux environs de un mètre de profondeur, valeurs proches des taux de saturation de leurs sols au niveau de cette profondeur, (entre 27 et 32 %) ce qui témoigne de l'existence d'une nappe aux environs de 120 cm.

2.2.2.2.3. Variation de la salure du sol

Etant donné que le projet est implanté sur un sol halomorphe, le sol témoin présente des valeurs de salure très élevées, jusqu'à 30 mS/cm en surface. Le profil salin de type ascendant témoigne de l'existence d'une nappe à faible profondeur dans le sol. Le sol abandonné pour des cultures sur substrat présente une valeur de salure faible sur environ 60 cm d'épaisseur à partir de la surface (3,7 mS/cm), valeur voisine de celle de l'eau d'irrigation. La valeur la plus élevée est entre 60-80 cm (autour de 5 mS/cm). Cet état de salure est la conséquence de l'application d'une dose de lessivage (de lixiviation), en fin de culture, entraînant les sels au-delà de 60 cm de profondeur. Cette pratique est réalisée par quelques agriculteurs dans un second but, et moyennant une eau chaude (40-50°C), pour l'élimination des nématodes.

2.2.2.2.4. Teneur en gypse

Les valeurs mesurées ne présentent pas des teneurs élevées. Jusqu'à 120 cm de profondeur, les teneurs en gypse varient entre 2 et 6 % à l'intérieur de la serre. Le sol témoin présente, par contre, un encroûtement gypseux de nappe à partir de 80 cm de profondeur.

2.2.2.2.5. Teneur en P_2O_5 assimilable

Les valeurs rencontrées dans le sol abandonné ne présentent plus que quelques valeurs de fin de culture (18-28 ppm). La technique de ferti-irrigation étant celle adoptée pour l'alimentation en éléments fertilisants, elle continue à l'être pour les cultures sur substrat. A partir de 40 cm, cette teneur chute à la valeur de 9 ppm, qui est équivalente à celle mesurée sur le sol témoin sur toute sa profondeur.

2.2.2.2.6. Teneur en K_2O assimilable

Les teneurs en K_2O assimilable varient entre 124 et 220 ppm le long du profil du sol abandonné; les valeurs les plus élevées, pour ce profil, correspondent à l'horizon 60-120 cm, un état de fin de culture pour un sol qui semblait ne pas souffrir d'un manque en cet élément fertilisant.

Les valeurs élevées en K_2O assimilable dans le sol témoin à l'extérieur de la serre ne trouvent aucune explication.

2.2.2.3: Les périmètres éloignés des chotts et des sebbhas

Ces périmètres se situent à Chenchou (CAPRIS et El Haouma Primeurs) et à Oued Ennouar (Jardin du Sud et SODAS) du gouvernorat de Gabès. Ils couvrent une superficie totale de 9 ha. Les eaux d'irrigation de ces périmètres proviennent, respectivement des forages de Chenchou 16 (salinité = 4 mS/cm) et de Oued Ennouar (Salinité = 4.7 mS/cm). L'observation in situ ainsi que les analyses physico-chimiques des sols sont à la base de l'étude des propriétés des sols (Annexe 2).

2.2.2.3.1: Distribution verticale de la texture

L'analyse granulométrique des sols, nous révèle que les sols situés à Chenchou se caractérisent par une texture grossière (sablo-limoneuse). La fraction argileuse varie de 7 à 13 % et celle du sable de 68 à 80%. Contrairement à ces sols, ceux situés à Oued Ennouar, se caractérisent par une variabilité spatiale (verticale et latérale) importante (Annexe 2). Toutefois, on peut noter qu'en surface et en profondeur, la texture est fine (équilibrée à limono-argileuse), le pourcentage d'argile peut atteindre 25 %. A moyenne profondeur (60 - 100 cm), on enregistre une augmentation du taux des fractions grossières au dépens des fractions fines.

La texture fine des sols dans la région de l'Oued Ennouar pourrait constituer une contrainte pour le transfert couplé eau-soluté dans le sol.

2.2.2.3.2: Teneur des sols en calcaire et en gypse

Les sols des périmètres de Chenchou sont faiblement à moyennement calcaires. Le taux de calcaire actif est inférieur à 7 %. Dans les périmètres de l'Oued Ennouar, la variation verticale du taux de calcaire actif suit étroitement celle de la texture. En effet, dans les horizons à texture fine, le taux de calcaire actif varie de 12 à 14 %. Dans les horizons à texture limono-sableuse, il est inférieur à 7 % (Annexe 2).

Les teneurs en gypse des échantillons de sols sont inférieures à 4 % à Chenchou et à 7% à Oued Ennouar.

Les valeurs élevées du calcaire actif dans les périmètres de l'Oued Ennouar peuvent être à l'origine d'un déséquilibre nutritionnel des plantes sensibles à cet élément.

2.2.2.3.3: Salure des sols

L'étude comparative de la variation verticale de la salure d'un sol non irrigué (témoin) et des sols irrigués durant des périodes différentes, nous a permis de montrer l'impact des irrigations sur l'évolution de la salure des sols. Il en ressort que l'irrigation durant une campagne de culture, d'un sol initialement non salin (CEe 2 mS/cm), de texture grossière (Chenchou), a entraîné une augmentation de la salinité des sols surtout en surface, qui atteint la valeur de 4 mS/cm, valeur assez proche de celle des eaux d'irrigation (4.4 mS/cm).

Au niveau des sols des périmètres de Oued Ennouar, on constate que, malgré la teneur relativement élevée des particules fines, en particulier la fraction argileuse, la salinité des horizons situés au delà de 20 cm de profondeur est inférieure à 6 mS/cm, valeur assez proche de celle de la solution fertilisante (4.9 mS/cm). Par contre en surface, on enregistre une accumulation très importante des sels, aussi bien à SODAS (9.65 mS/cm) qu'à la société Jardins du Sud (25 mS/cm). La salinisation excessive de l'horizon de surface ainsi que l'allure du profil sofin (ascendant), pourrait s'expliquer par des doses d'irrigation inférieures aux

2.2.2.3: Les périmètres éloignés des chotts et des sabbhas

Ces périmètres se situent à Chenchou (CAPRIS et El Hasma Primours) et à Oued Ennour (Jardin du Sud et SODAS) du gouvernorat de Gabès. Ils couvrent une superficie totale de 9 ha. Les eaux d'irrigation de ces périmètres proviennent, respectivement des forages de Chenchou 16 (salinité = 4 mS/cm) et de Oued Ennour (Salinité = 4.7 mS/cm). L'observation in situ ainsi que les analyses physico-chimiques des sols sont à la base de l'étude des propriétés des sols (Annexe 2).

2.2.2.3.1: Distribution verticale de la texture

L'analyse granulométrique des sols, nous révèle que les sols situés à Chenchou se caractérisent par une texture grossière (sablo-limoneuse). La fraction argileuse varie de 7 à 13 % et celle du sable de 68 à 80%. Contrairement à ces sols, ceux situés à Oued Ennour, se caractérisent par une variabilité spatiale (verticale et latérale) importante (Annexe 2). Toutefois, on peut noter qu'en surface et en profondeur, la texture est fine (équilibrée à limono-argileuse), le pourcentage d'argile peut atteindre 25 %. A moyenne profondeur (60 - 100 cm), on enregistre une augmentation du taux des fractions grossières au dépens des fractions fines.

La texture fine des sols dans la région de l'Oued Ennour pourrait constituer une contrainte pour le transfert couplé eau-soluté dans le sol.

2.2.2.3.2: Teneur des sols en calcaire et en gypse

Les sols des périmètres de Chenchou sont faiblement à moyennement calcaires. Le taux de calcaire actif est inférieur à 7 %. Dans les périmètres de l'Oued Ennour, la variation verticale du taux de calcaire actif suit étroitement celle de la texture. En effet, dans les horizons à texture fine, le taux de calcaire actif varie de 12 à 14 %. Dans les horizons à texture limono-sableuse, il est inférieur à 7 % (Annexe 2).

Les teneurs en gypse des échantillons de sols sont inférieures à 4 % à Chenchou et à 7% à Oued Ennour.

Les valeurs élevées du calcaire actif dans les périmètres de l'Oued Ennour peuvent être à l'origine d'un déséquilibre nutritionnel des plantes sensibles à cet élément.

2.2.2.3.3: Salure des sols

L'étude comparative de la variation verticale de la salure d'un sol non irrigué (témoin) et des sols irrigués durant des périodes différentes, nous a permis de montrer l'impact des irrigations sur l'évolution de la salure des sols. Il en ressort que l'irrigation durant une campagne de culture, d'un sol initialement non salin (CEe 2 mS/cm), de texture grossière (Chenchou), a entraîné une augmentation de la salinité des sols surtout en surface, qui atteint la valeur de 4 mS/cm, valeur assez proche de celle des eaux d'irrigation (4.4 mS/cm).

Au niveau des sols des périmètres de Oued Ennour, on constate que, malgré la teneur relativement élevée des particules fines, en particulier la fraction argileuse, la salinité des horizons situés au delà de 20 cm de profondeur est inférieure à 6 mS/cm, valeur assez proche de celle de la solution fertilisante (4.9 mS/cm). Par contre en surface, on enregistre une accumulation très importante des sels, aussi bien à SODAS (9.65 mS/cm) qu'à la société Jardins du Sud (25 mS/cm). La salinisation excessive de l'horizon de surface ainsi que l'allure du profil salin (accidenté), pourrait s'expliquer par des doses d'irrigation inférieures aux

besoins totaux (qui ne tiennent pas compte ou sous-estiment la fraction de lessivage et/ou une évaporation importante dans la terre).

La salinisation de l'horizon de surface (caractérisé par une densité racinaire maximale des cultures), s'accompagne par une augmentation de la concentration de la solution du sol en certains ions, en particulier, ceux du chlore et du sodium qui dépassent de loin les seuils de tolérance des cultures.

2.2.2.3.4: Fertilité des sols

La teneur en matière organique des sols est très faible sur l'ensemble des échantillons, et est inférieure à 0,5 %. Ces valeurs faibles ne favorisent pas l'amélioration de la structure des sols et par conséquent leurs propriétés physiques (porosité, densité apparente,...) et hydrodynamiques, en particulier, la perméabilité et la vitesse d'infiltration.

La teneur en phosphore assimilable des sols irrigués est faible (inférieur à 20 ppm), par contre, la teneur des sols en potassium assimilable est satisfaisante, et même élevée dans les sols à texture fine de l'Oued Ennouur (varie de 500 à 1400 ppm dans l'horizon 0-20 cm) (Annexe 2). Cet excès en potassium pourrait provoquer une carence en magnésium.

Pour améliorer la fertilité et la fertilisation des sols, il est utile de tenir compte, lors de la préparation de la solution fertilisante, du stock initial des éléments fertilisants dans le sol. Cette démarche permet à l'agriculteur de mieux cibler ses interventions et d'éviter des dépenses inutiles. Dans les sols, surtout ceux de l'Oued Ennouur, à texture fine, des apports d'engrais organiques bien décomposés seront nécessaires pour améliorer les propriétés physiques, hydrodynamiques et hydriques des sols. Des amendements sableux permettront d'alléger la texture des sols et d'améliorer le transfert de l'eau dans le sol. Dans ce cadre, la société « CAPRIS », a adopté cette solution au cours de la campagne 1995-96, en apportant un amendement sableux sur les 20 premiers centimètres du sol. L'étude comparative des propriétés physico-chimiques des horizons de surface d'un sol avec et sans amendement sableux, en particulier les fractions granulométriques des sols, nous révèle, que le taux d'amendement est insuffisant pour engendrer une amélioration sensible du transfert de l'eau dans le sol.

2.2.2.4: Les cultures sur substrat silicteux

Pour éviter l'hydromorphie et la salinisation des sols, ainsi que pour améliorer les conditions de lixiviation des solutés et de drainage des sols, les sociétés « CAPRIS » et « Cinquième Saison » ont remplacé les cultures sur sol en place par celles sur substrat de texture sableuse. Ce dernier leur permet, en outre, de mieux gérer le programme d'irrigation et de fertilisation.

Le substrat sableux (sables grossiers # 60%) a une épaisseur de 30 à 40 cm et provient des carrières de sable de Oudhef. Il est isolé du sol en place par une couche imperméable, généralement du plastique. Le drainage de ces substrats est assuré par des drains enterrés, situés à environ 30 cm de profondeur et entobés par un filtre en gravier.

Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur des échantillons du substrat, prélevés en surface (0-15 cm) et en profondeur (15-30 cm) (Annexe 2) et dont certains résultats figurent dans le tableau 14.

Tableau 14: Propriétés physico-chimiques du substrat de la « Cinquième Saison »

| Prof. (cm) | A | Lf | Lg | Sf | Sg | MO | CT | Gypse |
|------------|---|----|----|----|----|------|----|-------|
| 0-15 | 4 | 0 | 2 | 31 | 59 | 0.22 | 3 | 3 |
| 15-30 | 3 | 3 | 1 | 35 | 57 | 0 | 2 | 2 |

avec: A: argile (%); Lf: limon fin (%); Lg: limon grossier (%); Sf: Sable fin (%); Sg: Sable grossier (%); MO: Matière organique (%); CT: Calcaire total (%);

2.2.2.4.1. La texture

L'analyse granulométrique des échantillons du substrat, nous montre que la texture est sableuse (Tableau 13). Par contre, l'observation in situ des échantillons des sols, nous révèle que la fraction argileuse se trouve en partie sous forme de nodules.

2.2.2.4.2. Profil hydrique

L'étude comparative du profil hydrique et du taux de saturation du substrat de certains échantillons, nous montre, des valeurs élevées de l'humidité des sols, surtout en profondeur. Dans certains cas, l'humidité du substrat dépasse le taux de saturation. Ce résultat confirme les observations in situ, à savoir l'hydromorphie des sols. Cette hydromorphie reflète des conditions de drainage déficientes, qui pourraient s'expliquer par un mauvais dimensionnement et / ou de pose du réseau du drainage. Des phénomènes de colmatage des orifices des drains enterrés peuvent entraîner également l'hydromorphie des sols.

2.2.2.4.3. Salure des substrats

Le profil salin des substrats est de type ascendant. La conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (CEe) varie de 10 mS/cm à 17.7 mS/cm en surface et de 4 à 8 mS/cm en profondeur. Ce gradient de la salure, s'explique par l'importance des remontées des solutés en surface par les capillaires du sol sous l'effet de l'évaporation et la présence d'une hydromorphie peu profonde.

2.2.2.4.4. La fertilité du substrat

- Teneur en matière organique:

Les substrats sableux sont dépourvus de matière organique (inférieure à 0.2 %). Ce taux faible n'a pas d'incidence sur les besoins nutritionnels des cultures, puisque l'ensemble des éléments essentiels de la plante est fourni par les eaux d'irrigation et par voie foliaire.

- Teneur en phosphore et en potassium assimilable

La teneur en phosphore assimilable est faible sur l'ensemble des échantillons analysés, elle est inférieure à 25 ppm à la « Cinquième Saison » et à 12 % à « CAPRIS ».

La teneur en potassium assimilable est moyenne au sommet du substrat de la « Cinquième Saison » (172 ppm) et faible pour le reste des échantillons.

L'analyse chimique des eaux de drainage (Tableau 16), nous révèle une concentration très élevée en potassium, qui témoigne d'une incivision importante des ions de la solution du sol, en particulier des éléments fertilisants.

Tableau 1 Propriétés physico-chimiques des sols et risque de dégradation des sols des périmètres irrigués par les eaux géothermales

| UNITES | Périmètres éloignés des chotts et des selkhars | Cultures sur substrat | Périmètres péri-chotts non contaminés par une nappe | Périmètres péri-chotts contaminés par une nappe |
|--------------------------------|--|---|---|---|
| PERIMETRES | Chenouba | 7ème SAISON et CAPRIS | El Hamma de Lazer | Deuz |
| FACTEURS DE RISQUES | | | | |
| Texture | Sablense à Sablo-limoneuse | Sablense | Sablo-limoneuse à lim-sablense | Sablense à Sablo-limoneuse |
| Profondeur | | | | |
| Salinité | Moyenne | Elevée à très élevée | Moyenne | Moyenne à élevée |
| Gypse | Faible | Moyenne | Moyenne | Moyenne |
| Ca/craire | Faible | Très faible | Très élevée à partir de 50 cm | Faible à moyenne |
| Actif | Moyenne | Très faible | Faible | Faible |
| Fertilité | Très faible | Très faible | Moyenne | Faible |
| N2O | Satisfaisante | Faible à moy | Satisfaisante | Satisfaisante |
| P2O5 assimilable | Faible | Faible | Faible | Faible |
| Hydrocarbonable | Temporaire | Par endroit | | Perméante |
| Autres | Brise-vents Nématodes | Brise-vents Nématodes | Brise-vents Nématodes | Brise-vents Nématodes |
| Hydratation des constituants | Fertigation | Texture et salinité Drainage Salinité Fertigation | Fertigation | Hydroamphibie Salinisation Fertigation |
| Risque de dégradation des sols | Moyen | Elevé | Moyen | Elevé |

Tableau 16: Composition chimique des eaux d'irrigation et de drainage
(exprimée en mg/l) Site: « Cinquième Saison »

| | pH | CE(mé/cm) | SAR | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Cl ⁻ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|----------------|-----|-----------|-----|-------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|
| Eau Irrigation | 7,9 | 4,0 | 3,5 | 122 | 1164 | 515 | 356 | 96 | 290 | 42 |
| Eau Drainage | 7,3 | 7,1 | 4,7 | 305 | 2473 | 875 | 742 | 656 | 547 | 244 |

Il en ressort que les cultures sur substrat souffrent:

- D'un drainage déficient, favorisant l'hydromorphie et la salinisation des sols, surtout en surface.
- Une fertilisation inadéquate ainsi qu'une perte importante des éléments fertilisants par le drainage artificiel excessif.

2.2.3. Les difficultés et les contraintes de développement du secteur de la géothermie

La productivité dans le secteur de la géothermie ne suit pas une courbe ascendante et les rendements sont fluctuants et n'atteignent l'optimum que dans de rares cas. Des difficultés et des contraintes freinant la prospérité de production sont à l'origine de ces faibles rendements. Ils peuvent être répartis sur deux origines essentielles :

2.2.3.1. Les contraintes du milieu naturel

Les projets liés à la géothermie se localisent à proximité de la grande fosse de Chott El-Jerid et ses ramifications, sous un climat aride et dans une position géomorphologique souvent défavorable avec la présence d'une nappe superficielle salée. De tels facteurs favorisent l'accumulation des sels en surface et accentuent les difficultés d'évacuation des eaux qui rejoignent les nappes superficielles et contribuent à faire remonter leur niveau statique. Par ailleurs, le captage et l'exploitation des ressources en eau disponibles sont coûteux, et même le refroidissement constitue une difficulté supplémentaire non négligeable à cause des coûts élevés des installations et des ouvrages.

2.2.3.2. Les contraintes d'ordre technique

Ces contraintes reviennent à plusieurs causes et concernent pratiquement tous les paramètres pouvant avoir un effet quelconque sur la production.

2.2.3.2.1. Les sols

- La majorité des périmètres sont implantés sur des sols salés ou moyennement salés, difficilement cultivables dans des conditions ordinaires. La salinité des sols peut atteindre ou dépasser la valeur de 30 mS/cm (sol témoin), notamment à El Khebayat et Béchima, près d'El Hamma de Gabès.
- La zone racinaire n'est pas indépendante de la nappe phréatique salée sous-jacente, lorsqu'elle est peu profonde, et elle en reçoit des apports salins remontant par capillarité et augmentant la CE, ce qui doit se traduire par une chute de production.
- La nature du matériau et sa texture sont, dans certains cas, incompatibles avec les procédures de mise en irrigation et de pratique culturale. En effet, les textures fines constatées dans certains périmètres retiennent les sels et filtrent lentement les excès d'eau.

2.2.3.2.2. Le drainage

- Il y a absence, pour la plupart du temps, de travaux d'aménagement de réseaux de drainage permettant de rabattre le niveau de la nappe et d'éloigner son danger pour les racines des cultures. Cette nappe est, en effet, proche de la surface pour les périmètres situés près des chotts. Elle peut même affleurer à quelques dizaines de mètres des serres, comme c'est le cas du périmètre de Hamiche à Douz.

Du fait de la nature très plane des terrains, des faibles pentes observées et des conditions d'écoulement très lent des eaux superficielles ou souterraines, l'irrigation peut contribuer à la saturation de la porosité de drainage, par la remontée rapide du niveau de la nappe, surtout lorsque cette dernière est initialement peu profonde, et créer, de cette façon, une ambiance de stagnation et d'hydromorphie, suivie d'une salinisation, provoquant la chute des rendements.

- Pour les cultures sur substrat, la pente du fond du fossé, imperméabilisé par une membrane en plastique, est souvent très faible, ajoutée à une longueur excessive des drains et une absence de regards intermédiaires, ce qui se traduit par un écoulement lent des eaux excédentaires. Les conséquences sont une stagnation de l'eau dans la partie inférieure du substrat et une apparition de signes d'asphyxie racinaire sur les tissus aériens du végétal.

- Les conduites d'eau de drainage, sous le substrat, ne sont, parfois, pas protégées par un filtre de gravier et leurs perforations sont mal confectionnées ce qui peut provoquer des colmatages par la particules fines et réduire la vitesse d'évacuation des excès d'eau.

2.2.3.2.3. L'irrigation

La dose d'irrigation appliquée dépasse souvent et d'une manière évidente, la capacité de rétention du matériau et les besoins des cultures. Cet excès d'eau, ajouté à un mauvais fonctionnement du réseau de drainage, provoque l'hydromorphie à la base du substrat et est source de gaspillage d'éléments fertilisants.

2.2.3.2.4. La contamination par les nématodes

- La technique de remplacement de la couche sableuse par un nouvel apport de sol indemne, sans installation d'une matière isolante, n'empêche pas les micro-organismes ravageurs (nématodes) d'infester, de nouveau, le sol en de courtes périodes de temps. Le même raisonnement peut aussi être valable pour le déplacement des sels de bas en haut, à partir de la nappe salée.

- Les apports de substrats, non isolés de la terre en place, sont aussi facilement contaminables par les nématodes et les sels.

2.2.3.2.5. Autres contraintes:

- Il y a presque absence totale de brise-vents autour des abris-serres qui sont de nature à les protéger des dégâts que peuvent provoquer les vents violents (Est et Sud-Ouest).

- Il n'y a pas possibilité, pour certains périmètres, d'appliquer la rotation des cultures par manque d'espace. Une serre peut ainsi demeurer au même endroit pendant 10 années complètes.

3. LES APPROCHES ET LES STRATEGIES DE DEVELOPPEMENT DU SECTEUR DE LA GEOTHERMIE: CRITERES DE CHOIX ET PARAMETRES PRIS EN COMPTE.

3.1. Les propositions d'amélioration de l'état actuel

A partir des techniques précaires, des difficultés et des problèmes relevés, agissant d'une manière négative sur la production, un certain nombre de mesures et de solutions peuvent être élaborées pour améliorer l'état actuel. Ces mesures sont classées par facteur d'intervention selon les objectifs à court terme.

3.1.1. L'environnement physique

3.1.1.1. Le drainage

- Aménager un réseau de drainage dans un schéma de réseau global du secteur permettant de rabattre le niveau de la nappe phréatique dans et autour des périmètres implantés à basse altitude et près des chotts et des sabkhas.
- Reprendre le creusement des fosses destinées à la réception des substrats pour assurer une inclinaison suffisante permettant d'évacuer plus rapidement les excès d'eau d'irrigation, par gravité.
- Acquérir des conduites d'eau de drainage bien adaptées à la méthode de culture sur substrat et confectionner les perforations suffisantes sur leurs faces latérales pour faciliter davantage la pénétration de l'eau.
- Réduire les dimensions de ces drains en aménageant des regards tous les 20 mètres.

3.1.1.2. L'irrigation

- Entreprendre une régulation du débit et des fréquences d'irrigation en fonction des capacités de rétention en eau du sol ou du substrat, des fractions lessivantes, de la valeur journalière de l'E.T.P. à l'intérieur de l'abri-serre et du facteur d'occupation du sol (crop-factor).
- Arrêter momentanément les irrigations, à chaque fois que des signes de stagnation de l'eau apparaissent.

3.1.1.3. Texture - Brise vents

- Faire des corrections texturales sur les matériaux à texture fine en ajoutant du sable, pour améliorer la perméabilité et les possibilités d'évacuation des sels.
- Plantation de brise-vents autour des périmètres fonctionnels en choisissant les espèces qui s'adaptent au milieu.

3.1.1.4. Lutte contre les parasites ravageurs

- Eviter, durant les prochaines campagnes de placer le substrat directement sur le sol en place sans isolation par une matière imperméable.
- Généraliser la pratique de la procédure d'épandage, durant l'été, des eaux chaudes (70°C ou 45°C) sur le sol cultivé et le faire exposer au soleil, par labour, pour assainir ou

réduire l'activité des nématodes. Des actions de suivi et d'évaluation des résultats de cette méthode peuvent être prises en charge par les instituts de recherche spécialisés.

3.1.2. Surveillance périodique et régulière

La surveillance et le suivi réguliers concerneront la nappe et les excès d'eau, la solution du sol, la solution fertilisante, les eaux d'irrigation et le degré de contamination par les nématodes.

3.1.2.1. Surveillance de la nappe

Après implantation du piézomètre, un échantillonnage sera effectué mensuellement avec analyse de la CE. Le bilan ionique pourra être déterminé deux fois par an. Les résultats des observations peuvent fournir des renseignements et des explications sur l'état de fonctionnement du réseau de drainage.

3.1.2.2. La solution du sol

- Les paramètres à contrôler mensuellement sont la CE, le pH et l'humidité sur 120 cm de profondeur, et les éléments fertilisants sur 40 cm de profondeur.
 - Les paramètres à contrôler une fois/an. le calcaire total et le gypse.
- Ces déterminations restent valables aussi bien pour les substrats, mais les prélèvements se limiteront à l'épaisseur de ces derniers (deux échantillons à deux niveaux de profondeur)

3.1.2.3. Les eaux d'irrigation et les solutions fertilisantes

- Analyse trimestrielle des eaux d'irrigation: Analyse complète
- Analyse mensuelle des solutions fertilisantes
- Analyse mensuelle des eaux de drainage (cultures sur substrat)

3.1.2.4. Estimation du coût d'une opération de suivi

(Tableaux 17 et 18)

Les prix retenus dans cette estimation sont ceux du tableau de tarification des analyses des sols et des eaux, élaboré par le Ministère de l'Agriculture, en 1992. Le prélèvement d'échantillons est effectué, par unité de production donc par propriété. Pour les eaux d'irrigation, l'analyse concerne tout le périmètre puisque la source (forage) est commune.

3.2. Les objectifs à atteindre à long terme

Les objectifs ciblés par les mesures de réhabilitation, de surveillance et de correction proposées pour améliorer la situation actuelle sont:

- Assurer, par le biais des ressources disponibles, une continuité de production et une amélioration des rendements
- Maîtriser les techniques d'irrigation-drainage pour contribuer à l'économie de l'eau et éviter les problèmes de hydromorphie et de la salinité
- Réduire et anéantir l'effet des nématodes sur les cultures par l'adoption de systèmes culturaux appropriés et par la recherche de moyens de lutte efficaces
- Exploiter d'une façon optimale les potentiels hydrologique et énergétique disponibles pour obtenir le maximum de production.

- Faire prospérer la vocation du secteur de la géothermie, en tant que domaine destiné à l'exportation et source de devises non négligeable.
- Dresser un plan d'action et des orientations techniques permettant de valoriser toutes les ressources en eau et en sol, en augmentant les surfaces actuellement cultivées.

3.3. Actions générales à entreprendre

Une récapitulation et une mise en ordre des mesures à prendre pour conduire l'irrigation (par des eaux géothermales) de cultures de primeurs ou d'arrière-saison protégées, formulées sous forme d'actions et groupées par étape d'intervention, a été synthétisée et peut être présentée de la façon suivante :

3.3.1. Etude du milieu d'exécution du projet

- Etude des sols : Cartographie de détail (1/5000 ou 1/10000), consultation des documents et des cartes couvrant le milieu d'étude, détermination des propriétés physico-hydrauliques et chimiques des sols (granulométrie, calcaire, gypse, M.O., C.F., pH), détermination des aptitudes des sols.
- Etude topographique : Exécution de levés topographiques et parcellaires, de plans cotés. Elaboration de plans types des ouvrages.
- Les eaux d'irrigation : Détermination de leur composition chimique et des débits disponibles.
- Au cas où une nappe est proche de la surface : Détermination de ses caractéristiques (profondeur ou niveau statique, salinité, bilan ionique ...)
- Etude biologique : Analyse microscopique et vérification si les nématodes infestent le sol ou non.
- Estimation des investissements et définition des orientations de gestion du périmètre.

3.3.2. Etape de l'installation du projet

3.3.2.1. Mesures communes

- Installation de brise-vents, tout en incluant les surfaces destinées à la rotation des cultures. Des déflations éoliennes sont très possibles compte-tenu de la texture, souvent sableuse des matériaux superficiels et de la nature géomorphologique du milieu exposé en couloirs pour les vents dominants.
- Adapter un système d'irrigation en fonction des résultats de l'étude des sols : calcul du débit, de la vitesse d'infiltration, des doses, des fréquences.
- Aménager un réseau de drainage (à ciel ouvert et souterrain) en cas de présence proche de la surface, d'une nappe d'eau.
- Installation de piézomètres pour le contrôle du niveau de la nappe superficielle.
- Choix des cultures en fonction de l'aptitude du sol et de la qualité de l'eau d'irrigation.
- Prévoir une salinité additionnelle, apportée par les fertilisants ajoutés, et une éventuelle chute de pH, par la présence d'acide phosphorique.
- Pour l'économie de l'eau, choisir le système et la technique d'irrigation appropriés tout en tenant compte des besoins réels des cultures et des fractions lessivables.

3.3.2.2. Serri-culture sur sol en place

- Prévoir les espaces suffisants pour réaliser les opérations de rotation de cultures.
- Procéder à une amélioration texturale et structurale pour les sols à texture fine, par les apports de sable et de matière organique.
- Au cas où les surfaces sont insuffisantes pour pratiquer l'assolement, prévoir le mode de culture sur substrat, après infestation du sol initial par les nématodes.

Tableau 17: Estimation du coût annuel d'une opération de surveillance pour une culture sur sol en place

| Paramètres à analyser | Nombre d'échantillons/ prélèvement | Nombre de folios/an | Nombre Total | Prix Unitaire | Prix Total |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------|---------------|------------------|
| Nutriments | | | | | |
| - CE | 1 | 12 | 12 | 1,500 D | 18,000 D |
| - Bilan ionique | 1 | 2 | 2 | 12,000 D | 24,000 D |
| Soléum du sol | | | | | |
| - CE | 6 | 8 | 48 | 2,500 D | 120,000 D |
| - pH | 6 | 8 | 48 | 1,800 D | 86,400 D |
| - Humidité | 6 | 8 | 48 | 1,000 D | 48,000 D |
| - P2O5 assimilable | 2 | 8 | 16 | 4,000 D | 64,000 D |
| - K2O total | 2 | 8 | 16 | 10,000 D | 160,000 D |
| - Azote total | 2 | 8 | 16 | 5,000 D | 80,000 D |
| - CaCO3 total | 6 | 1 | 6 | 1,800 D | 10,800 D |
| - Gypse | 6 | 1 | 6 | 7,000 D | 42,000 D |
| Eau d'irrigation | | | | | |
| - CE | 1 | 4 | 4 | 1,500 D | 6,000 D |
| - Bilan ionique | 1 | 4 | 4 | 12,000 D | 48,000 D |
| - pH | 1 | 4 | 4 | 1,500 D | 6,000 D |
| Soléum fertilisant | | | | | |
| - CE | 1 | 8 | 8 | 1,500 D | 12,000 D |
| - Bilan ionique | 1 | 8 | 8 | 12,000 D | 96,000 D |
| - pH | 1 | 8 | 8 | 1,500 D | 12,000 D |
| Eau de drainage | | | | | |
| - CE | 1 | 2 | 2 | 1,500 D | 3,000 D |
| - Bilan ionique | 1 | 2 | 2 | 12,000 D | 24,000 D |
| - pH | 1 | 2 | 2 | 1,500 D | 3,000 D |
| Totaux | | 284 | | | 863,000 D |

Tableau 18: Estimation du coût annuel d'une opération de surveillance, pour une culture sur substrat

| Paramètres à analyser | Nombre d'échantillons/ prélèvement | Nombre de folios/an | Nombre Total | Prix Unitaire | Prix Total |
|---|------------------------------------|---------------------|--------------|---------------|------------------|
| Soléum et concentrations de substrat | | | | | |
| - Granulométrie | 1 | 1 | 1 | 7,500 D | 7,500 D |
| - CE | 2 | 8 | 16 | 2,500 D | 40,000 D |
| - pH | 2 | 8 | 16 | 1,800 D | 28,800 D |
| - Humidité | 2 | 8 | 16 | 1,000 D | 16,000 D |
| - P2O5 assimilable | 2 | 8 | 16 | 4,000 D | 64,000 D |
| - K2O total | 2 | 8 | 16 | 10,000 D | 160,000 D |
| - Azote total | 2 | 8 | 16 | 5,000 D | 80,000 D |
| - CaCO3 total | 1 | 1 | 1 | 1,800 D | 1,800 D |
| - Gypse | 1 | 1 | 1 | 7,000 D | 7,000 D |
| Eau d'irrigation | | | | | |
| - CE | 1 | 4 | 4 | 1,500 D | 6,000 D |
| - Bilan ionique | 1 | 4 | 4 | 12,000 D | 48,000 D |
| - pH | 1 | 4 | 4 | 1,500 D | 6,000 D |
| Soléum fertilisant | | | | | |
| - CE | 1 | 8 | 8 | 1,500 D | 12,000 D |
| - Bilan ionique | 1 | 8 | 8 | 12,000 D | 96,000 D |
| - pH | 1 | 8 | 8 | 1,500 D | 12,000 D |
| Eau de drainage | | | | | |
| - CE | 1 | 2 | 2 | 1,500 D | 3,000 D |
| - Bilan ionique | 1 | 2 | 2 | 12,000 D | 24,000 D |
| - pH | 1 | 2 | 2 | 1,500 D | 3,000 D |
| Totaux | | 284 | | | 785,100 D |

3.3.2.3. Serri-culture sous abris couvrant des surfaces importantes et sur des substrats alloctones

- Aménagement de fossés à inclinaison suffisante pour assurer l'écoulement gravitaire de l'eau de drainage.
- Réduire les longueurs des drains pour rendre efficace l'écoulement gravitaire de l'eau de drainage.
- Isoler le substrat apporté du sol en place, par une matière imperméable (plastique par exemple) pour arrêter toute infestation ou contamination du substrat.
- Adaptation d'un système d'installation des conduites de drainage assurant le fonctionnement permanent : choix du diamètre approprié, mise en place d'un filtre (gravier fin par exemple...). L'infiltration de l'eau dans les drains doit être supérieure au débit d'irrigation goutte à goutte.
- Etablir des normes et des calendriers de ferti-irrigation tout en chargeant les vulgarisateurs du suivi de l'application de ces calendriers.

3.3.3. Etape de suivi et de surveillance

3.3.3.1. Le sol

A la fin de la première campagne et durant la saison sèche :

- * Faire une lixiviation des sels par épandage d'eau.
- * Réaliser un labour profond pour les cultures sur sol en place
- Prélèvement d'échantillons de sols et analyse de leur CEE avant le démarrage de la 2ème campagne. La méthode de prélèvement doit être propre pour éviter l'infestation du sol par les outils de prélèvement.
- Recours à un éventuel 2ème épandage d'eau avant la mise en culture, pour évacuer les résidus salins restants.
- En cours de campagne, prélèvement mensuel, pour chaque propriété, d'échantillons de sol, pour contrôler la composition chimique de la solution du sol et la quantité d'éléments fertilisants disponibles. Une détermination de l'humidité du sol en fonction de la profondeur est aussi nécessaire.
- Reprendre les mêmes procédures pour les campagnes et les inter-campagnes suivantes.
- Juger et prendre les décisions appropriées en fonction des résultats d'analyses : Modification de la composition de la solution fertilisante, lixiviation, renouvellement de substrat, déplacement de la serre...
- Normaliser les méthodes d'analyses et établir des corrélations entre les CE des différents extraits (laboratoire de Gabès).

3.3.3.2. L'eau d'irrigation et les solutions fertilisantes

- Préparer et pratiquer un mélange en fonction des besoins des plantes et éviter les apports en excès des éléments. S'équiper du matériel approprié.
- Prélèvement périodique des eaux du forage (trimestriel) et de la solution fertilisante (mensuel) pour analyses et éventuel ajustement du mélange.
- Tenir compte de la fraction de lessivage en calculant et en fournissant les doses d'irrigation. Tenir compte de la capacité de rétention en eau du sol en calculant ce paramètre.

3.3.3.3. Le Contrôle du niveau de la nappe phréatique (périmètres à risque d'hydromorphie)

- Contrôle périodique du niveau et de la salinité de la nappe (mensuel).
- Analyse et interprétation des données de suivi.

3.3.3.4. Les nématodes et les mesures phyto-sanitaires

- Faire associer les instituts de recherche dans les opérations de suivi et de recherche de nouveaux moyens de lutte contre la prolifération des nématodes et les dégâts qu'ils causent aux cultures.

- Vérification de l'impact de l'épandage des eaux chaudes (70°C pour la nappe du Cotinental Intercalaire et 45°C pour la nappe de Djellaf) sur l'élimination (pourcentage) ou la survie de ces êtres vivants dévastateurs.

- Éviter la contamination par les outils de travail du sol en procédant à leur nettoyage ou carrément à leur stérilisation en passant d'une serre à l'autre.

- Affecter des chercheurs spécialisés en cultures protégées et en phytopathologie, aux instituts de recherche représentés dans la région, pour suivre et identifier les problèmes freinant la production et proposer les solutions et les remèdes nécessaires.

Enfin, toutes les publications réalisées par les experts du projet PUGA, devront être reproduites et diffusées aux vulgarisateurs. Plusieurs détails relatifs à l'irrigation (matériel, conduite, doses, fréquences, fractions lessivantes), à la fertilisation et aux mesures phytosanitaires, figurent dans ces rapports, et peuvent leur être très utiles dans l'exécution de leurs tâches.

Tableau 19: Fiches guides pour le choix d'un sol à irriguer par des eaux géothermales

Tableau 19.1: Sol en place

| Propriétés | Valeurs et normes proposées | Associations et corrections |
|---|--|---|
| Texture | S SL L S | Amendements sableux en cas de texture fine |
| Perméabilité | $K > 5 \cdot 10^{-4}$ m/s | Amélioration structurale en cas de faible perméabilité par labour et apports organiques |
| Salinité | CEc < 6 mS/cm | Drainage et lixiviation des sels en cas de sol salé |
| Taux d'alcalinité | Na/T < 15% | Apports de gypse en cas de Na/T > 15% |
| Profondeur de la nappe | NS > 2 m | Drainage et assainissement dans tous les cas ou NS et présence d'une imperméable < 5m |
| pH de la solution du sol | 6 < pH < 8.5 | Corrections pour le calcium et le gypse |
| Calcaire | Calcaire actif < 8% | Eviter les sels à teneur élevée en calcaire actif |
| Gypse | Teneur < 5% | Eviter les sels à recouvrement gypseux superficiels |
| Matière organique | Taux > 2% sur 10 cm | Apports organiques fréquents |
| Capacité d'échange cationique | CEC < 10 meq/100g | Suivi et surveillance périodiques du rapport Na/T |
| Ferilité K ₂ O Total | 250-300 ppm * | Apports d'engrais en cas de déficience |
| Chimique P ₂ O ₅ Osew | 40-50 ppm * | Apports d'engrais en cas de déficience |
| sur 30 cm NO ₃ | 100 ppm de N * | Apports durant chaque campagne |
| Perte du terrain naturel | < 3% | Nivellements |
| Irrigation | - Débit < K - Fraction lessivante 20-40% de la dose | Régulation du débit des gouttes pour éviter les stagnations d'eau |

* Hermann P., 1980

Tableau 19.3: Cultures sur substrat

| Propriétés | Valeurs et normes préconisées | Améliorations et corrections |
|--------------------------|--|--|
| Texture | Sableuse | Choix du site de prélèvement et analyse granulométrique |
| Profondeur | > 10cm | Creusement de fossés et isolation par une matière imperméable |
| Saliinité | CE < 7 mS/cm | Éviter des eaux saumâtres |
| pH | 6- pH- 8.5 | Apports calciques (pH < 6) ou échangeurs de substrat |
| Calcaire total | 5- Taux < 10% | Apports calciques (pH < 6) |
| Gypse | Taux < 2% | Éviter les substrats gypseux |
| CEC | CEC < 5 Méc/100g | Éviter les substrats argileux |
| Fertilisants | Normes et quantités recommandées par le projet PLRGA | Pratiquer la ferti-irrigation |
| Drainage | | |
| - Pente du fond du fossé | Pente > 1% | Cerusage en fonction d'un profil en long |
| - Dimensions des drains | Longueur = 20 m | Aménager les regards sur les 10 mètres de longueur de la serre |
| - Filtre | Gravier fin ou tout autre matériau ayant la même fonction | Apports et installation des filtres |
| - Débit et écoulement | > 8* | Assurer les couvertures suffisantes sur les parois du drain |
| Irrigation | | |
| - Débit | Débit = K* | Régulation du réseau goutte à goutte |
| - Eau d'irrigation | CE = 6 mS/cm | Addition d'eau douce |
| - Fraction lessivée | 10-10 % de la dose d'irrigation | Prévoir les volumes d'eau suffisantes |
| - Dose d'irrigation | Variable selon les cultures (se référer aux estimations du projet PLRGA) | Prévoir les volumes d'eau suffisantes |

* K: Perméabilité Moutz

Conclusion générale

Les périmètres irrigués par les eaux géothermales dans le Sud tunisien, destinés à la production de cultures de primeurs, fonctionnent actuellement sur 72 ha répartis sur les trois gouvernorats où les eaux ont été captées, en l'occurrence Gabès, Kébili et Tozeur. Des anomalies techniques qui sont à l'origine d'une réduction de la production par rapport à l'optimum ont été relevées. Leurs causes reviennent généralement aux facteurs du milieu naturel et particulièrement le sol (ambiance physico-chimique et thermique) et la topographie qui ne sont pas favorables associées à une mauvaise application des techniques introduites pour améliorer le secteur. En effet, la majorité de ces projets sont situés autour des chotts d'El Jerid et d'El Fejjaj, sur des zones à basse altitude où s'étendent des sols affectés de salure et contaminés par une nappe d'eau salée peu profonde. Un tel milieu nécessite des aménagements préalables pour éliminer les sels, éloigner leur origine et le rendre apte à la production en intensif. Malgré l'absence de tels aménagements, les promoteurs s'installent (aut bien que mal et adoptent de plus en plus la procédure de culture sur substrat, notamment pour les grands projets opérant sur des serres géantes et monopolisant plusieurs hectares de cultures sous abri.

Les principales contraintes techniques touchent pratiquement, soit totalement, soit partiellement, tous les périmètres sans exception et leurs causes sont, pour un sol en place:

- Soit une remontée du niveau de la nappe salée, créant une ambiance à la fois d'hydromorphie et de salure.

- Soit une indisponibilité de terrains supplémentaires ou l'impossibilité de déplacer de lourdes installations pour faire la rotation des cultures.

Les producteurs ont recours, pour éviter les conséquences de ces deux facteurs défavorables, aux cultures sur substrats sableux ou en recouvrant la couche arable superficielle par un nouvel apport de terre non contaminée. La deuxième solution n'est qu'un refuge provisoire puisque les contaminations par les nématodes ne sont pas exclues même durant la 1ère année de mise en place de la nouvelle couche de sol. La 2ème solution est appliquée avec un certain taux de réussite, mais le fait de négliger certains détails, fait apparaître des anomalies techniques sur la plupart des lignes de culture se traduisant par l'apparition d'un phénomène d'hydromorphie provoquant le ralentissement de la croissance ou le dépérissement de certaines espèces sensibles.

Le rapport a donc formulé un certain nombre de recommandations pour apporter des solutions à la situation actuelle consistant en :

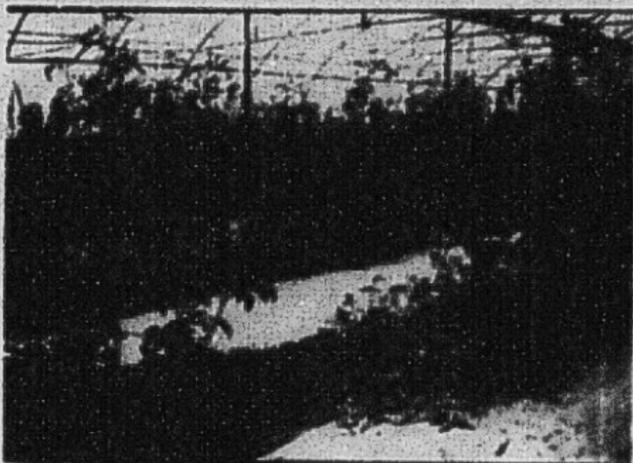
- L'aménagement de réseaux de drainage pour les zones utilisant le sol en place comme support des cultures.

- La réduction des dimensions des drains placés au fond des fossés à substrat sableux, avec le choix de conduites à parois suffisamment poreuses pour recueillir les excès d'eaux et la prévision d'une pente assurant l'écoulement gravitaire de l'eau de drainage.

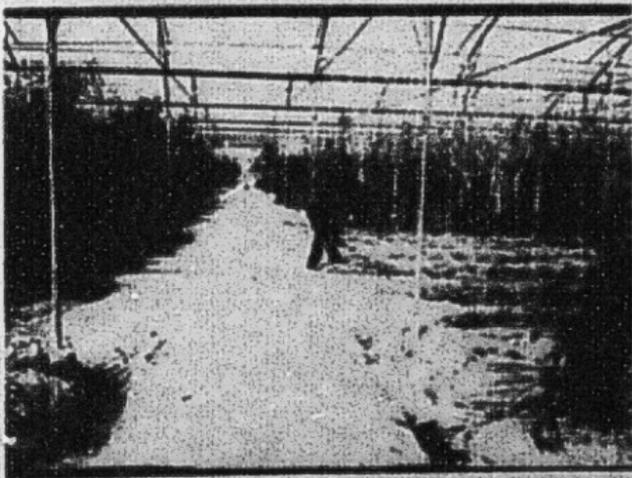
- Le suivi périodique du niveau et de la salinité de la nappe par l'intermédiaire d'un réseau piézométrique qui devra être installé dans et au voisinage des sites de production. Les échantillonnages et les analyses des sols seront aussi automatiques et coïncideront avec les périodes de surveillance piézométrique.

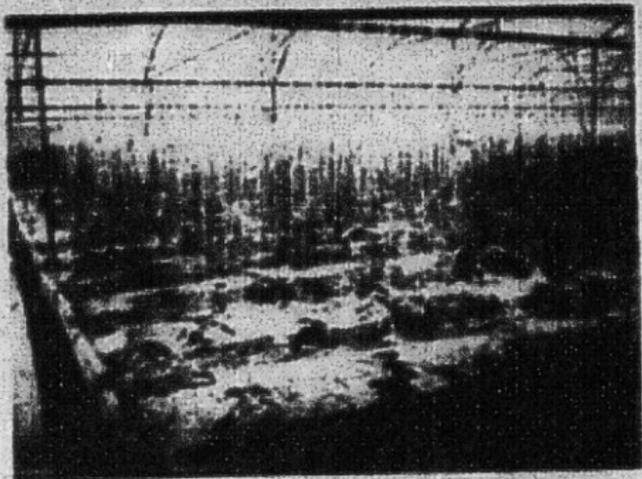
Pour le choix d'un nouveau site d'implantation d'un périmètre fonctionnant aux eaux géothermales, des mesures préventives et des critères de choix des sols et des éventuels aménagements, précédant la mise en culture, ont été aussi avancés dans le texte.

Enfin, et compte-tenu de la gravité des dégâts que provoquent les nématodes qui dépassent, de loin, dans leur importance, les dégâts causés par la salure ou l'hydromorphie, des méthodes de lutte et des stratégies d'intervention devront être arrêtées par les services techniques chargés de la défense des cultures en associant les instituts de recherche spécialisés pour étudier l'impact des épandages des eaux chaudes ou "brûlantes" sur la survie ou l'élimination de ces vers souterrains.



flétrissement des cultures
(salure, hydromorphie ou nématodes ?)

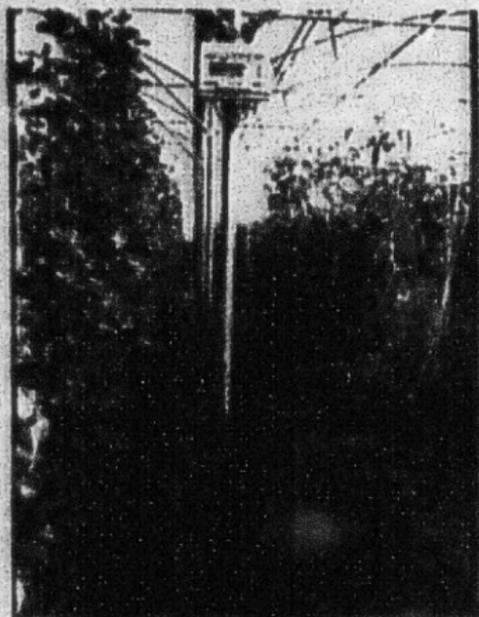




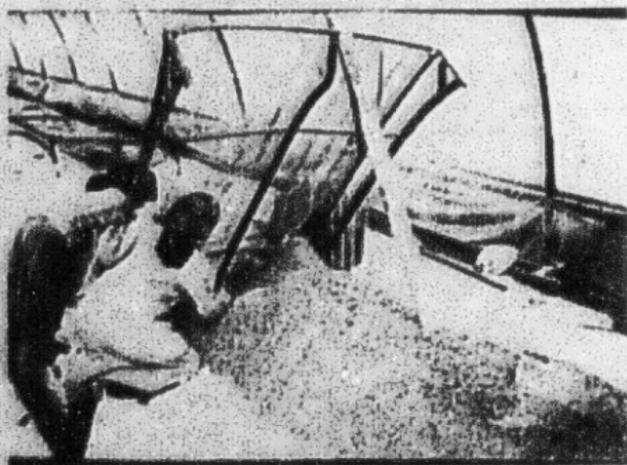
irrigation et drainage sur substrat sableux



vue de détail
(nous remarquons les excès d'eau couleur noirâtre)



pilote moderne de la serre



correction du substrat tamisage (# les nématodes)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abidi B. et Klila M., 1995: Mobilisation et gestion des ressources en eau dans les oasis du Djérid. 'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- Ben Salah A., 1968: Etude pédologique des oasis du groupe de Douz E: 370. Direction des Sols.
- Hermann P., 1980: Manuel de travaux pratiques d'analyse des sols, pour le DAA Science du sol-aménagement et le DEA Agronomie (option pédologie). Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Chaire de Géologie- Science du sol.
- Institut des Régions Arides, Centre Régional de Kébil: Mesures prophylactiques et méthodes d'interventions contre les nématodes sous serre chauffée.
- Mamou A., 1995: Incidence de l'exploitation des nappes du Sud Tunisien, dans les Oasises, sur la qualité chimique de leurs eaux. 'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- Mtimet A. et Pontanier R., 1995: Contraintes édaphiques et utilisation des eaux saumâtres en milieu oasis. Sols de Tunisie N°16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- Mtimet A., Besbes M., Ben Ammar M., Bel Hadj Belgacem M., 1987: Sauvegarde des oasis du gouvernorat de Gabès. état de salure des sols et comportement hydrique. ES 241. Dir. des Sols, 57 p.
- Mtimet A., Besbes M., Ben Ammar M., Bel Hadj Belgacem M., 1989: Sauvegarde des oasis du gouvernorat de Gabès. état de salure des sols et comportement hydrique. ES 259. Dir. des Sols.
- Pontanier R., 1968: Etude pédologique des oasis d'Ain Zerig E: 380. Direction des Sols.
- Pouget M., 1964: Etude pédologique de l'oasis de Gabès. 1/5.000. Direction des Sols.
- Saïd A., 1994: Suivi analytique de la fertilité dans les projets de la géothermie du gouvernorat de GABES. Ministère de l'Agriculture. CRDA de GABES, Arrondissement des Sols.
- Saïd A., 1995: Evolution de la salinité dans les oasis de Gabès. 'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.
- عسر مطمط: 1995: مورد التربة وإمكانية استخدام مياه الصرف الشحية بواسطة تقنوة (التلوب التوسية).
'Sols de Tunisie' N° 16, bulletin de la Direction des Sols. Direction des Sols, Ministère de l'Agriculture.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES RELATIVES AUX PROJETS PUGA¹

- CallertL.wri**: Le calcul de la quantité d'engrais à diluer dans l'eau d'irrigation, en utilisant des solutions semi-équilibrées, pour les cultures sous serre chauffée.
- Crietaso.wri**: Les critères de classification et de choix des sols pour leur utilisation en culture protégée chauffée et irriguée par les eaux géothermales.
- Corrocol.wri**: Les problèmes de corrosion et de colmatage des réseaux et des émetteurs en irrigation fertilisante.
- Draines.wri**: Le drainage dans les périmètres chauffés et irrigués avec les eaux géothermales.
- Evolsee4.wri**, Juin 1995: Evolution du secteur au niveau international.
- Fertigsa.wri**: La fertigation des cultures sous serres chauffées et irriguées avec les eaux géothermales.
- Ficalcir.wri**: Le calcul des besoins en eaux d'irrigation des cultures sous serres chauffées.
- Ficaren.wri**: Les carences et excès nutritifs: Symptômes, causes et remèdes.
- Ficoniri.wri**: Fiche de la conduite de l'irrigation sous serre chauffée par les eaux géothermales.
- Fisal.wri**: La mesure et le contrôle de la salinité sous serre.
- Irrientr.wri**: Méthodes pour mesurer la salinité du sol et pour nettoyer les gaires.
- Maisafer.wri**: Contrôle et maîtrise de la salinité sous serre en irrigation fertilisante.
- Noequisse.wri**: Proposition de normalisation pour les équipements de chauffage et d'irrigation des serres chauffées par les eaux géothermales.
- Normeser.wri**: Réflexions sur la normalisation dans la géothermie. Structure de la serre.
- Qualeau.wri**: L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation des cultures sous serres.
- Rapport de synthèse final**, Octobre 1995, Ministère de l'Agriculture, Direction Générale de la Production Agricole, Projet de coopération Tuniso-Belge PUGA.
- Refroidi.wri**: Le refroidissement des eaux géothermales.
- Resubfer.wri**: Réflexions concernant les cultures sur substrat, la fertigation et la qualité.
- Simulren.wri**: La simulation des rendements des cultures en utilisant les données climatiques et la salinité.
- Stratedy.wri**: Amélioration des termes de référence des dossiers d'études.
- Tabirri.wri**: Tableau d'irrigation: Besoins en eau des cultures sous serre.
- Tdreperi.wri**: Les termes de référence des études concernant la création des périmètres géothermiques.
- Uniteges.wri**: Proposition de la structure tunisienne apte à coordonner et dynamiser les activités de la géothermie en agriculture.

¹ Références bibliographiques publiées sous forme de notes, par la Direction Générale de la Production Agricole et par les experts du projet de coopération Tuniso-Belge PUGA. En absence de date de publication, ces références ont été classées selon les noms attribués aux fichiers de traitement de texte.

ANNEXES

Annexe 1: Composition chimique et traces géochimique des eaux d'irrigation.

Annexe 2: Représentation graphique de l'état actuel de la distribution, en fonction de la profondeur, des différentes propriétés physico-chimiques des sols, dans les périmètres de la géothermie.

ANNEXES

Annexe 1: Composition chimique et traçés géochimique des eaux d'irrigation.

Annexe 2: Représentation graphique de l'état actuel de la distribution, en fonction de la profondeur, des différentes propriétés physico-chimiques des sols, dans les périmètres de la géothermie.

ANNEXE 1

Composition chimique et faciès géochimiques des eaux d'irrigation

Fig. 1 et 2: Représentation graphique de la composition chimique des eaux d'origine géothermique du Gouvernorat de Tozeur (mg/l).

Fig.1: El Hamma de Tozeur (Cl.1bis)

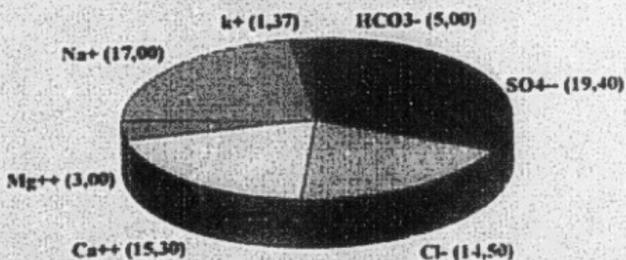


Fig. 2: Tozeur, Km5 (Cl.2)

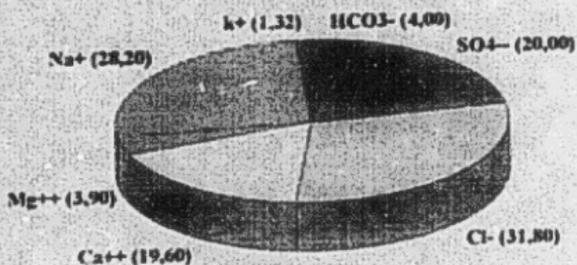


Fig. 3,4,5,6 et 7: Représentation graphique de la composition chimique des eaux d'origine géothermique du Gouvernorat de Kébili (mégq/l).

Fig. 3: Limaguess (CL8)

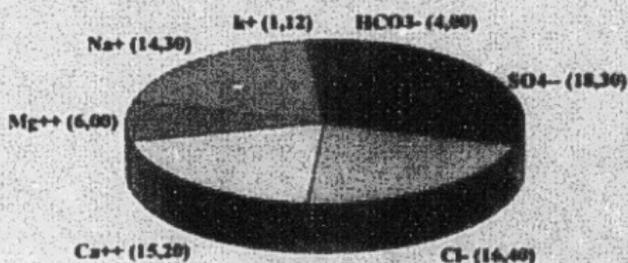


Fig. 4: Haricha-Douz (CL12)

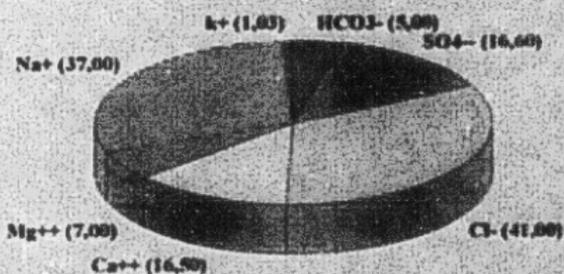


Fig. 5: Oum El Farth

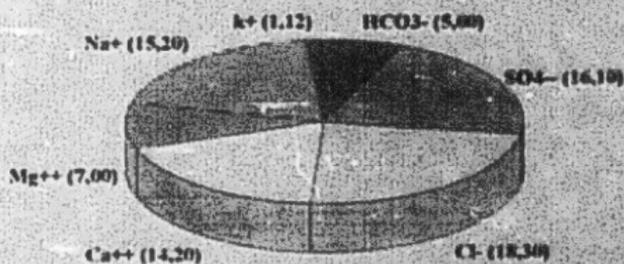


Fig. 6: Saidane

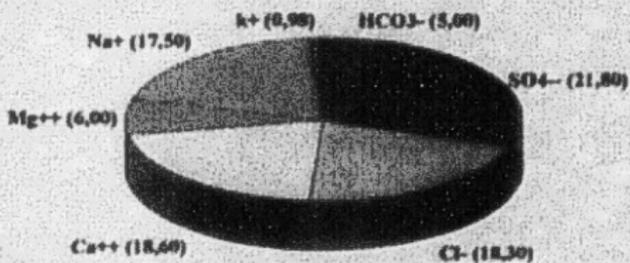


Fig. 7: Jemna

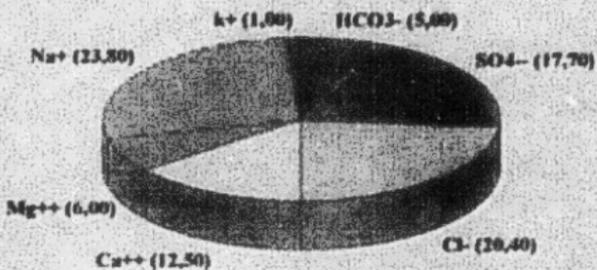


Fig. 8,9,10 et 11: Représentation graphique de la composition chimique des eaux d'origine géothermique du Gouvernorat de Gabès (méq/l).

Fig. 8: Chenchou (CH1)

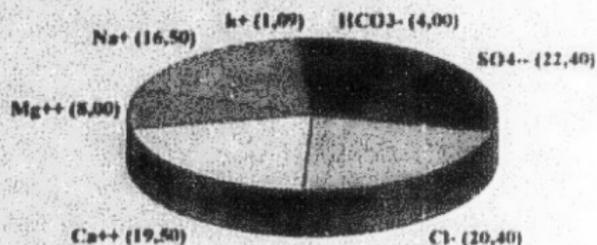


Fig.9: Khebayet (CF.1bis)

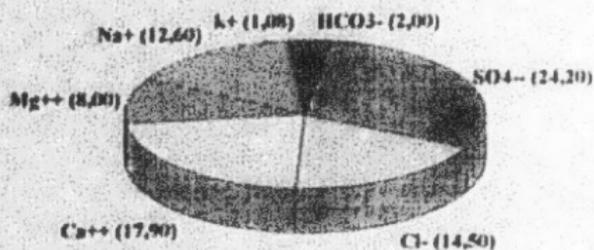


Fig.10: Khebayet (CF.3bis)

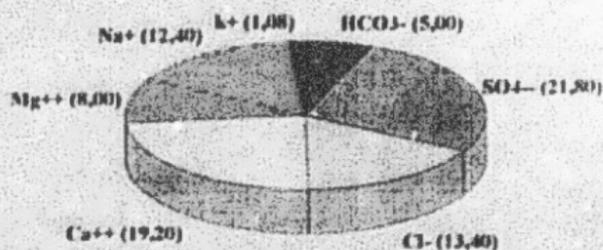
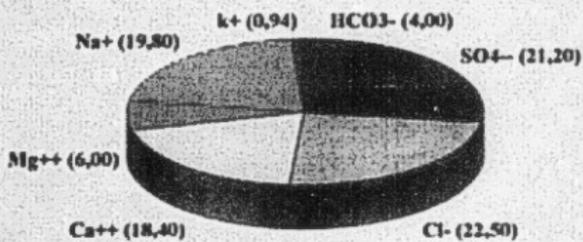


Fig.11: Jardin du Sud



ANNEXE 2

**Représentation graphique de l'état actuel
de la distribution, en fonction de la profondeur,
des différentes propriétés physico-chimiques des sols
dans les périmètres de la géothermie**

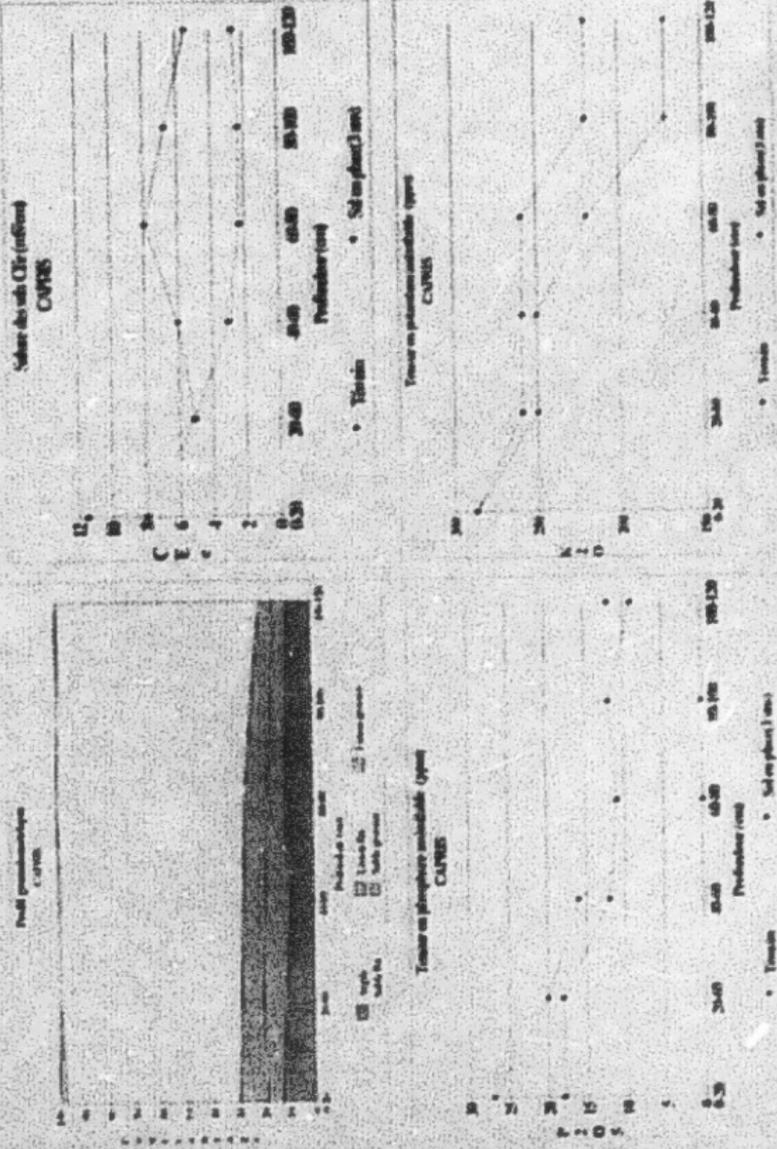
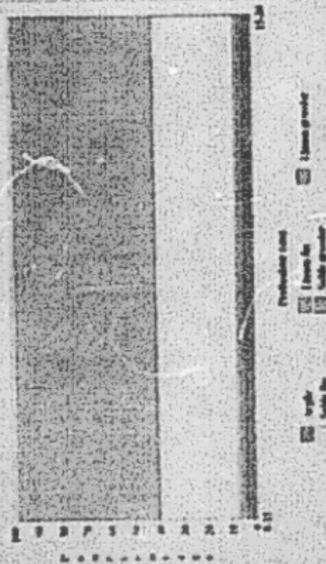
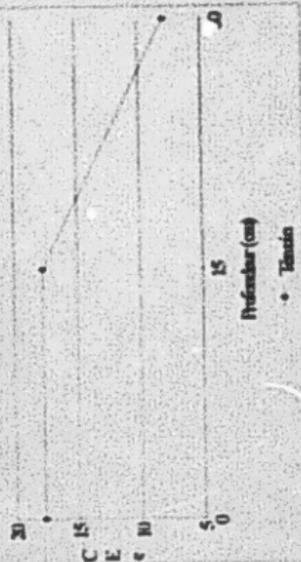


Figure 1: Variation verticale des propriétés physico-chimiques des sols du périmètre de Chouchou (Site CAPRIS)

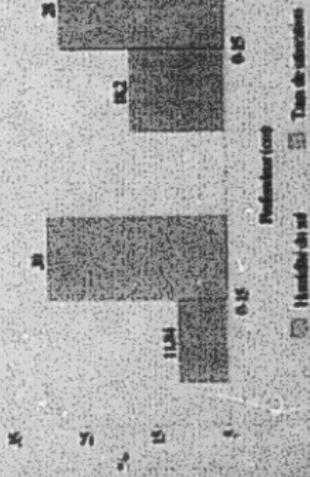
Profil granulométrique
C1918



Sature des sels Cl⁻ (effret)
Substrat: C1918



Humidité pondérale des sels (%)
Substrat: C1918



Teneur en potassium assimilable (K⁺)
et le phosphore assimilable (P⁵⁺) OAP

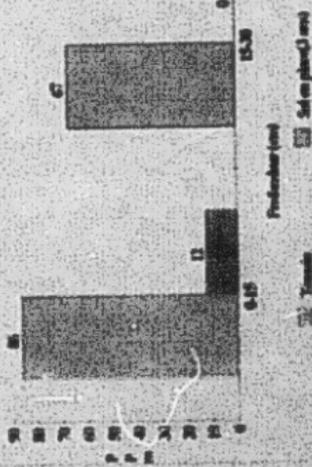


Figure 1: (suite)

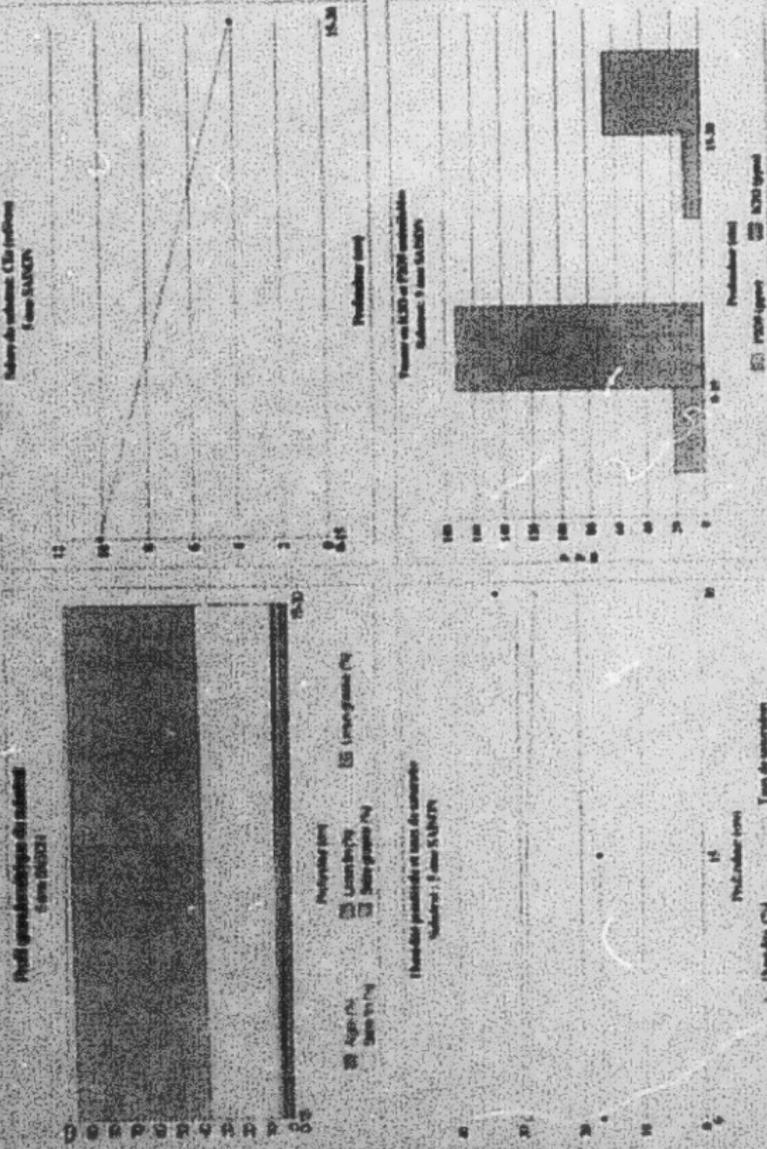
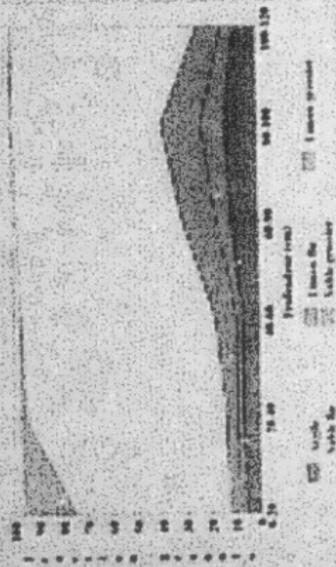


Figure 2: Variation verticale des propriétés physico-chimiques des sols du périmètre de Khebayyt (Site Same Saison)

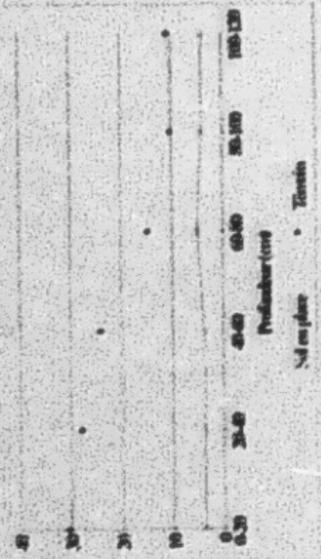
Profil géométrique des sols
1 Juin 1967



Température (%)
Site SAUSEY



Solure des sols (%)
Site SAUSEY



Humidité pondérale des sols (%)
Site SAUSEY



Figure 1. Variation verticale des propriétés physico-chimiques des sols du périmètre de Khehayet (Site Sème Saisons, Sol en place)

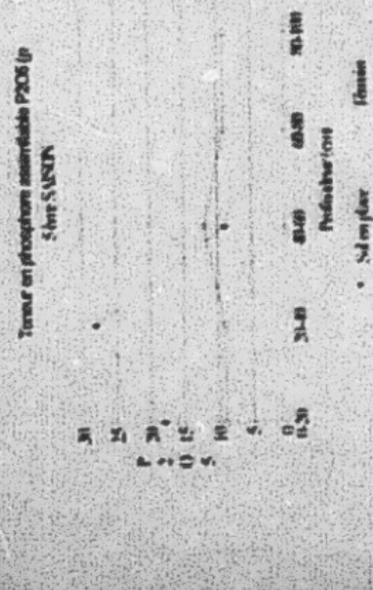


Figure 3: (suite)



SUITE EN

F

2



MICROFICHE N°

09402

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

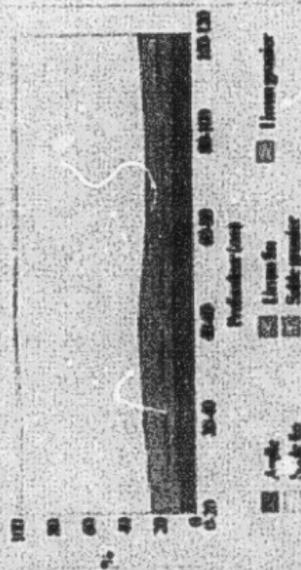
TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 2

A: Profil granulométrique
Profondeur 118cm Prémontre



B: Impact de l'irrigation sur la
salinité des sols (CEc enfrans)



C: Teneur des S₂ en phosphate
soluble (PCEt ppm)

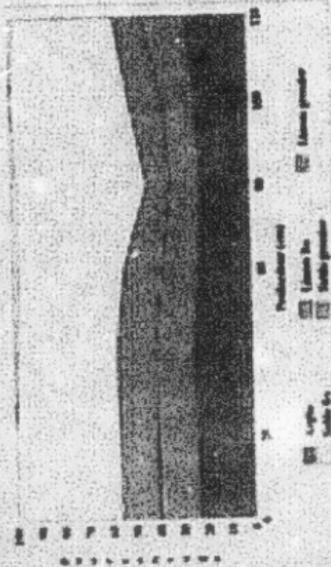


D: Teneur des sels en potassium
soluble (KCO ppm)

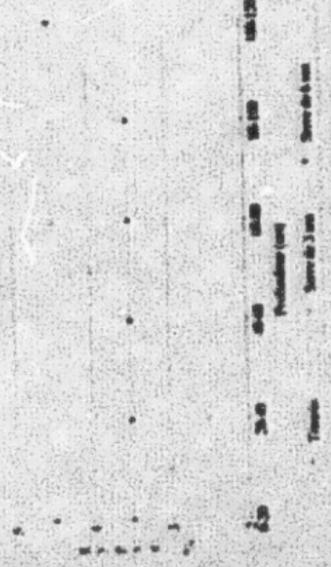


Figure 4: Distribution verticale des propriétés physico-chimiques des sols du périmètre de Chenchou (Site El Haouma Prémontre)

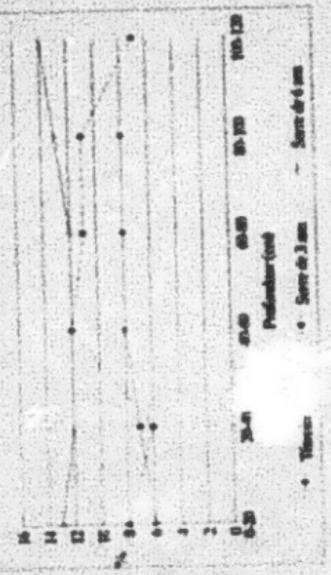
Profil géomorphologique
JARDIN DU SAÛD



Teneur en sélénium des sols
Château sur sol en place 25



Teneur en calcium actif (%)
Jardin du Saûd



Teneur en potassium extractible (KEX)
Château sur sol en place 25

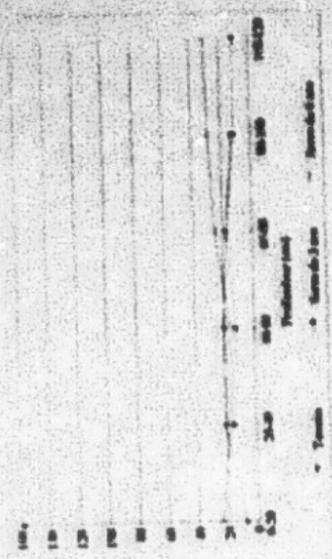


Figure 5: Variation verticale des propriétés physico-chimiques des sols du périmètre de Oued Essamer (Site Jardin du Saûd)

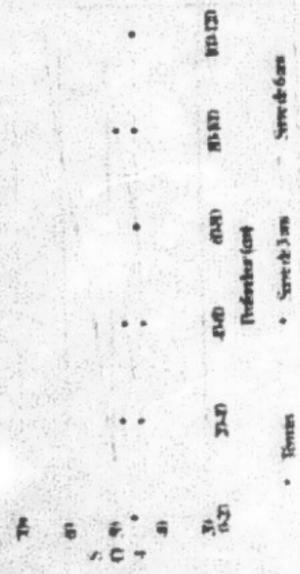
Évaluation de la stabilité des sols
 (C)1) méthode aux déplacements JS



Évaluation de la stabilité des sols
 de la méthode de JS



Évaluation de la stabilité des sols
 de la méthode de JS



Évaluation de la stabilité des sols
 de la méthode de JS



Figure 5: (suite)

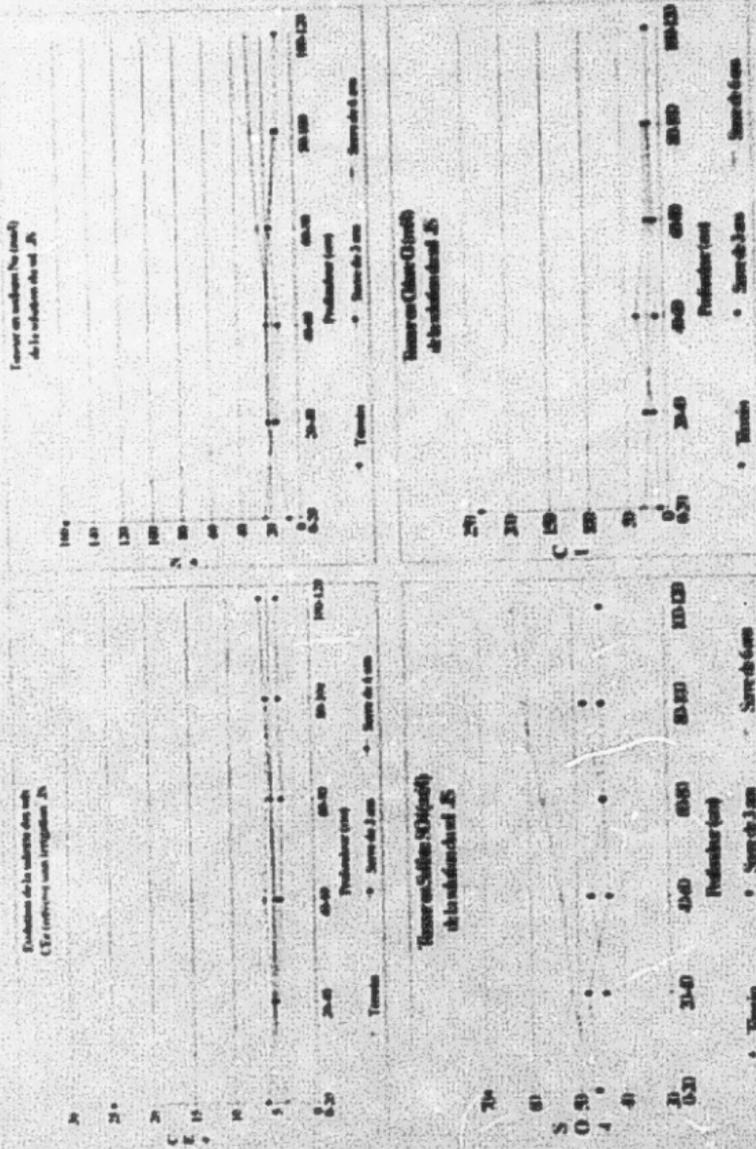
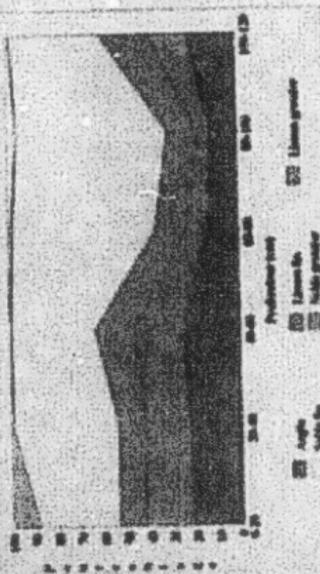
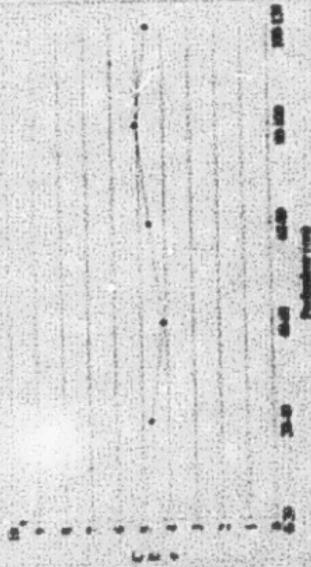


Figure 5c (suite)

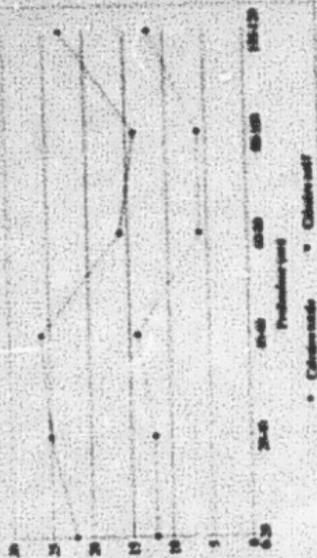
Profil géométrique
Sol en place : SC20AS



Solides et Cl⁻ cations
Sol en place tirage depuis 4 ans : SC20



Teneur en chlorure total et NaCl
Sol en place : SC20AS

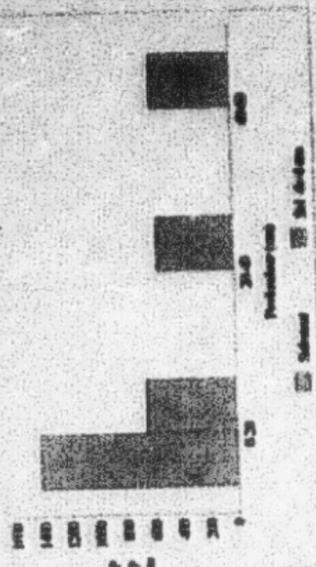


Teneur en certains anions de sulfure de
Sol en place tirage : SC20AS

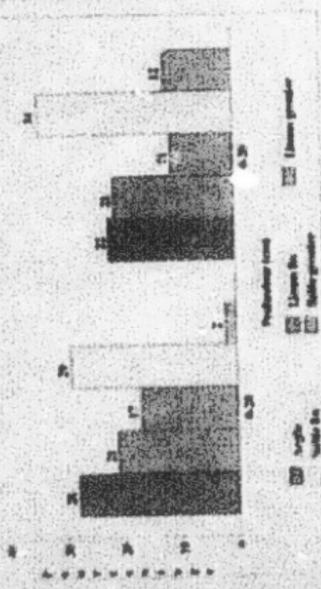


Figure 6: Variation verticale des propriétés physico-chimiques des sols de périphérie de Grand Estuar (Site SC20AS)

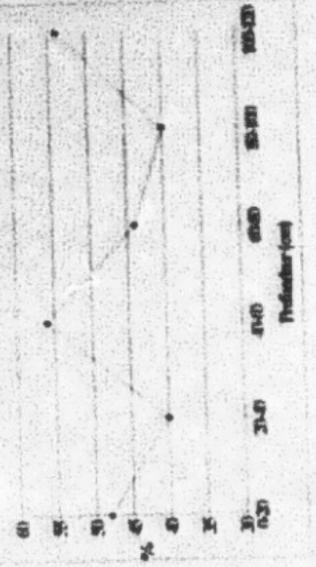
Yeast on glucose in the presence of 0.25% of each of the substrates



Yeast on various sources of carbon in the presence of 0.25% of each of the substrates



Yeast on various sources of carbon in the presence of 0.25% of each of the substrates



Yeast on various sources of carbon in the presence of 0.25% of each of the substrates

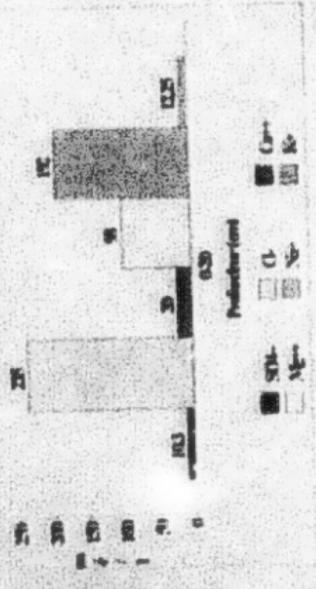


Figure 6: (suite)

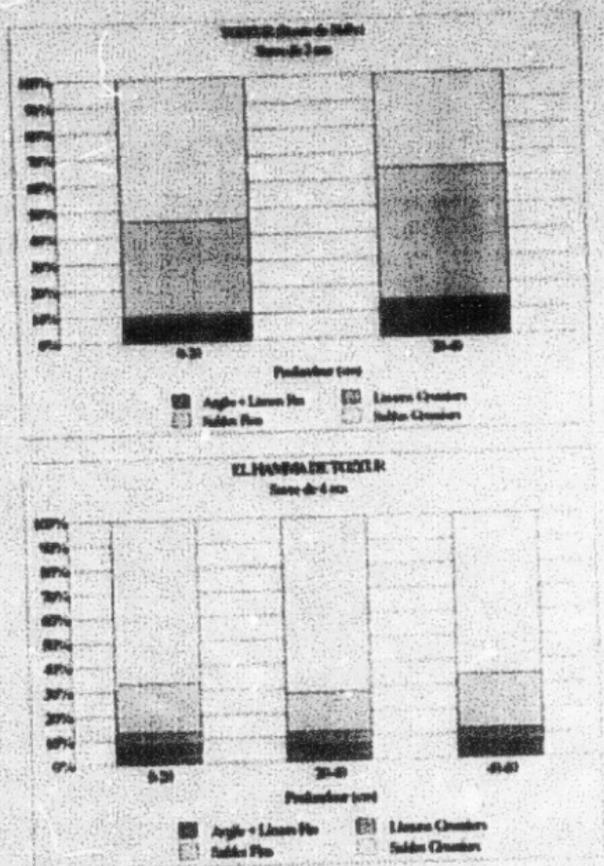


Figure 7 : Granulométrie des Sols dans le gouvernorat de Tazour
(Variation en fonction de la profondeur).

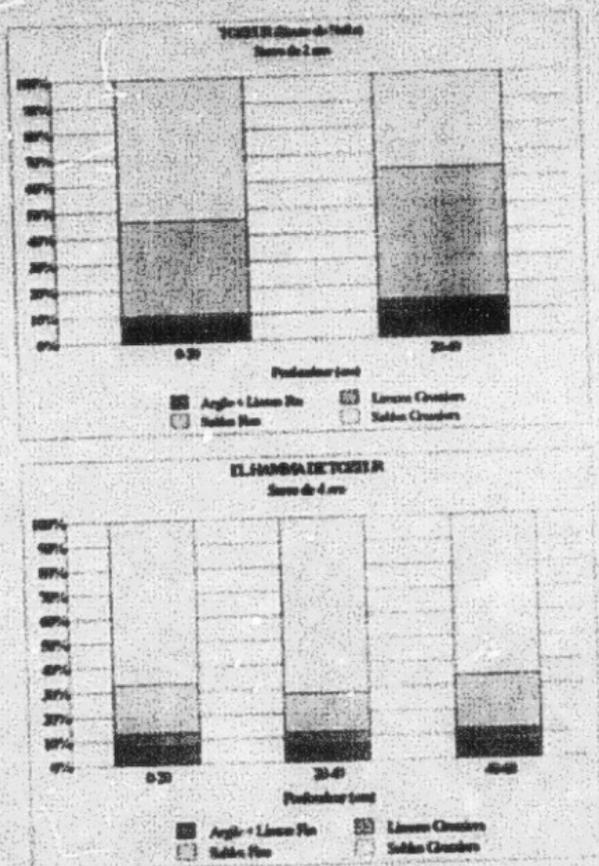


Figure 7 : Granulométrie des Sols dans le gouvernorat de Tozzur
(Variation en fonction de la profondeur).

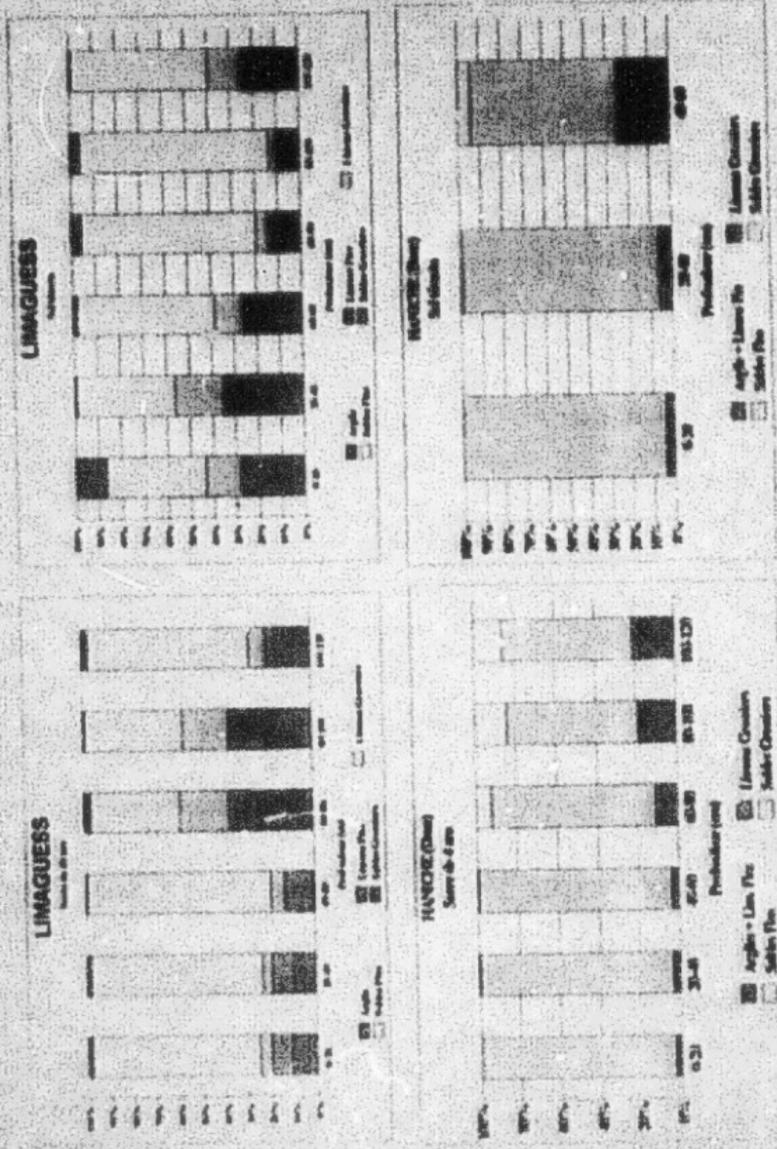


Figure 8 : Granulométrie des Sels dans le gouvernorat de Kébili (Variation en Fonction de la profondeur).

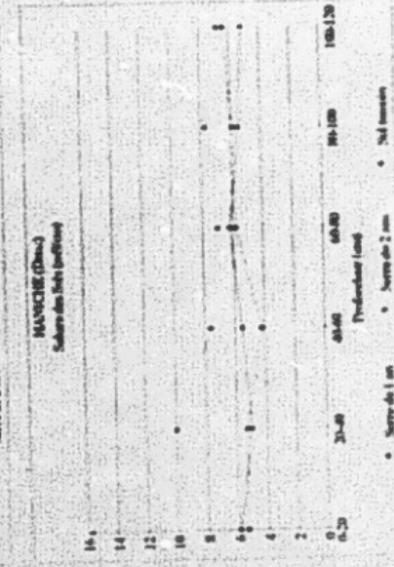
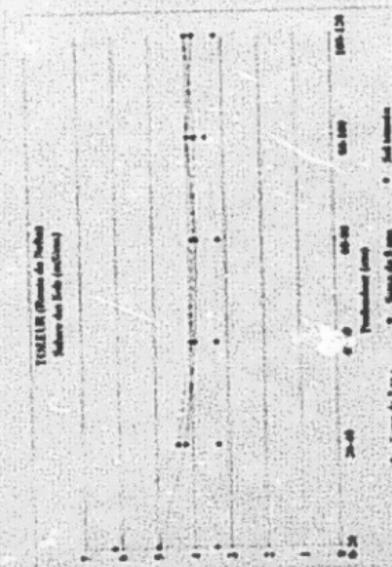
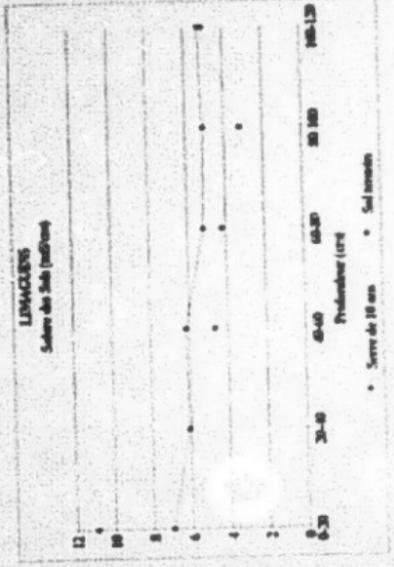
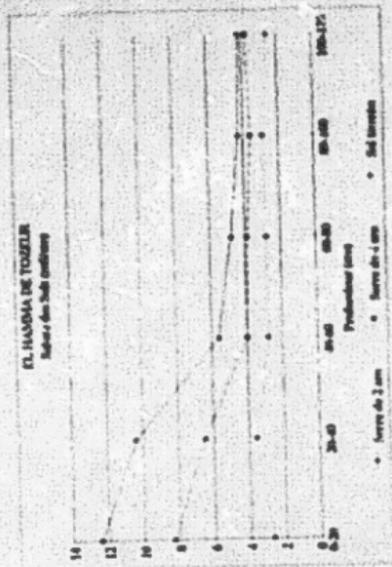
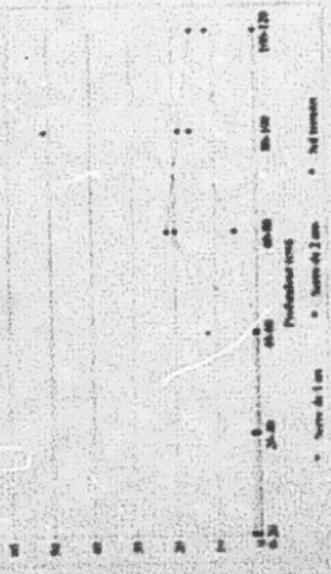


Figure 9: Variation en fonction de la profondeur de la salure des sols
aus différents sites de prélèvements dans les gouvernorats de Tozeur et de Kébil.

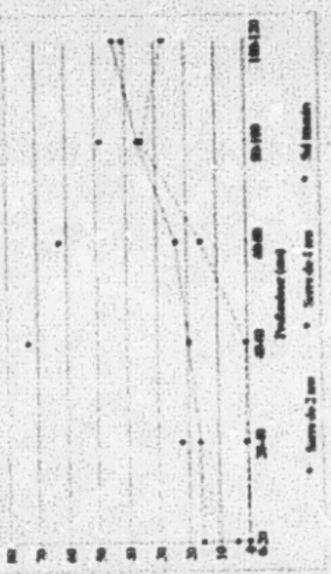
TOZEUR (Région de Naha)
Teneur en Oxygène (%)



MASCARA (Doud)
Teneur en Oxygène (%)



EL HANNA DE TOZEUR
Teneur en Oxygène (%)



LIMOUSIN
Teneur en Oxygène (%)



Figure 10: Variation en fonction de la profondeur de la teneur en oxygène aux différents sites de prélèvements dans les gouvernorats de Tozeur et de Kébil.

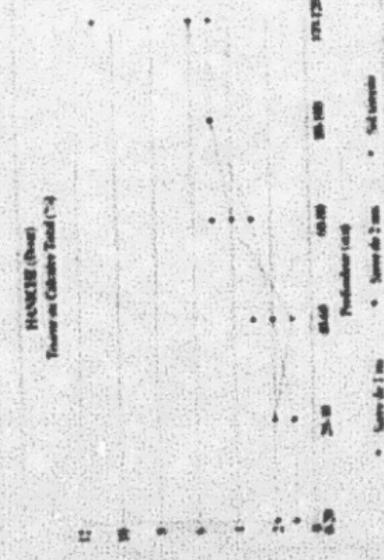
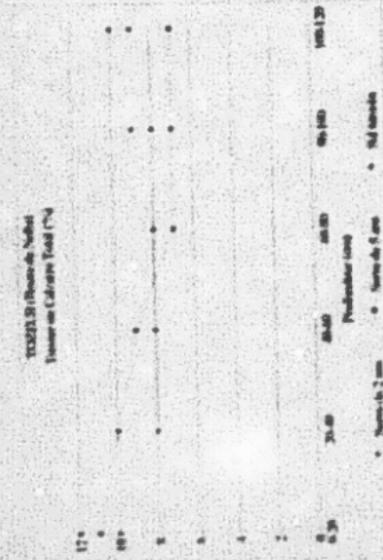
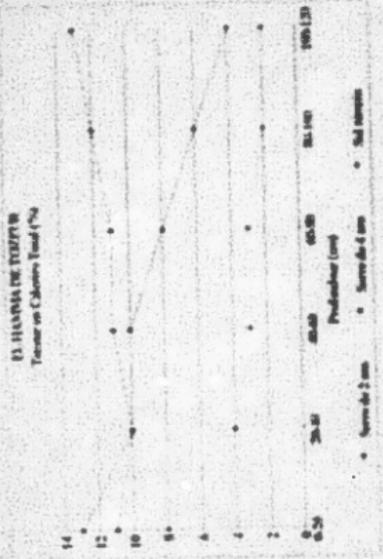
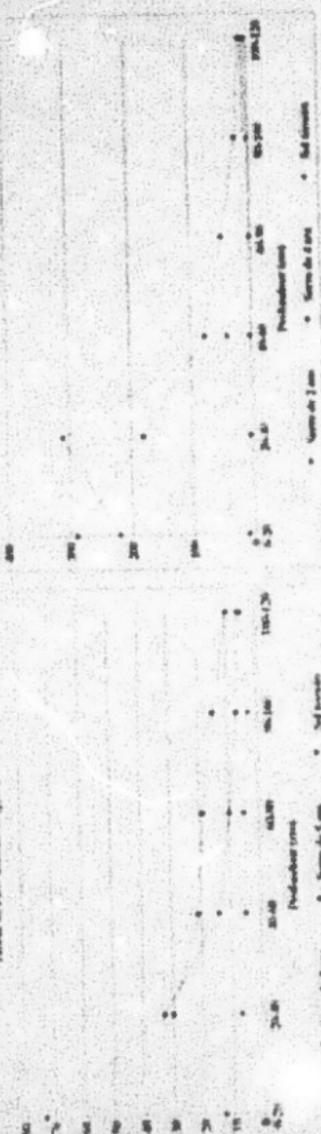


Figure 11: Variation en fonction de la profondeur de la teneur en calcium total aux différents sites de prélèvement dans les gouvernements de Toner et de K/hall

TORCEUR (Région de Norder)
Teneur en P₂O₅ assimilable (g/tonne)



LEINSPICH (Illertal)
Teneur en P₂O₅ assimilable (g/tonne)



Figure 12: Variation en fonction de la profondeur de la teneur en P₂O₅ assimilable aux différents stades de prélèvements dans les sous-ensembles de Torceur et de Kschill.

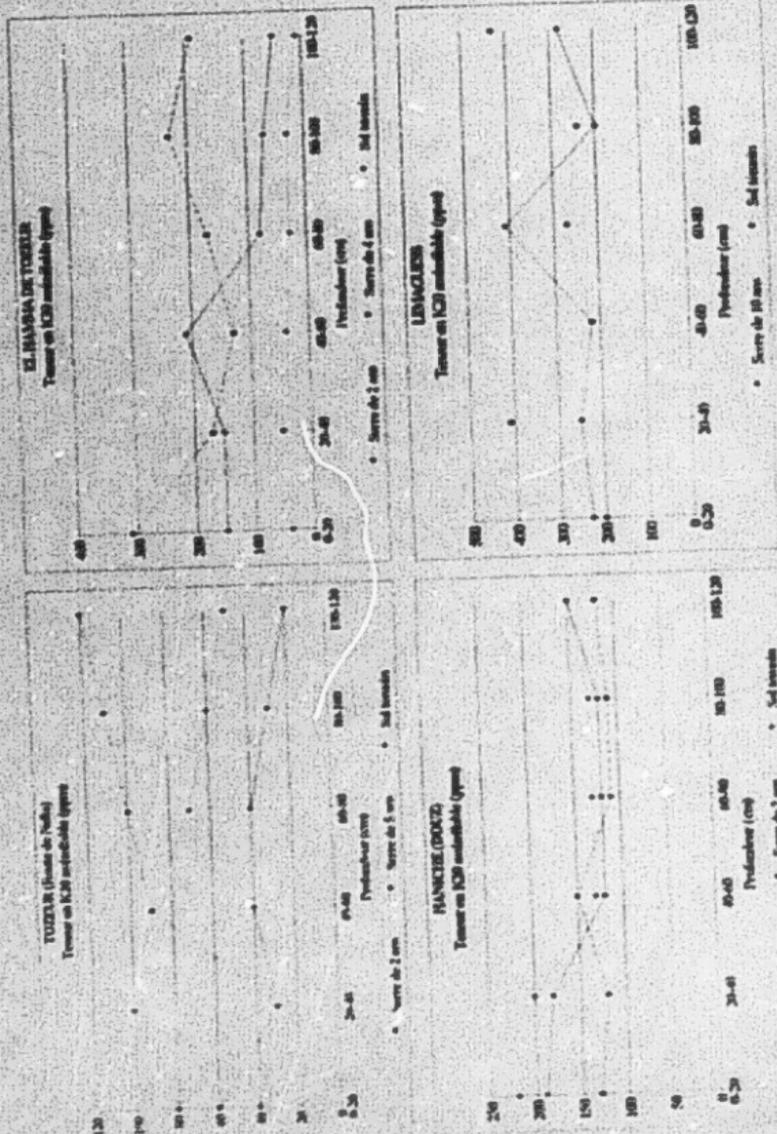
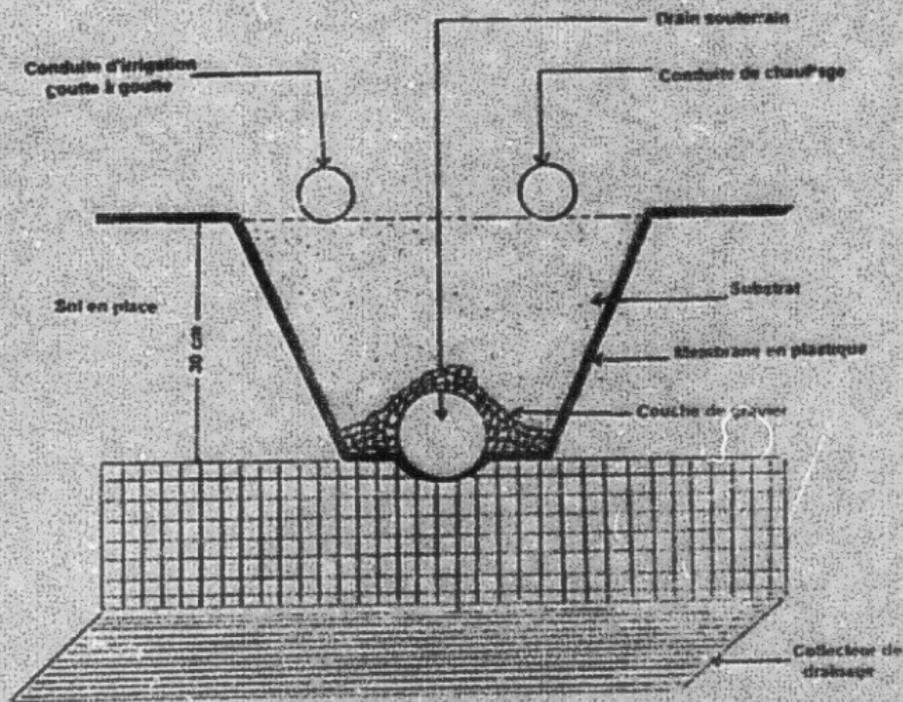


Figure 13: Variation en fonction de la profondeur de la teneur en K_2O assimilable aux différents sites de prélèvement dans les gouvernorats de Touzeur et de Kébil.

Figure 14 : Coupe transversale de la fosse abritant le substrat et les équipements d'irrigation-drainage



FIN

71

VUES